

Sonderdruck 79/3
Nachdruck aus Neues von Rohde & Schwarz
Nr. 79 - 85 Herbst 1977 bis Frühjahr 1979

repetitorium

Fernsehtechnik

von RUDOLF MÄUSL

Herausgeber: Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG · D-8000 München 80 Mühldorfstr. 15
Telefon (089) 41291 Telex 523703 · Printed in the Fed. Rep. of Germany 1979 (O)



Fernsehtechnik (I)

Rudolf Mäusl, Professor an der Fachhochschule München, unseren Lesern bereits durch zahlreiche Beiträge in »Neues von Rohde & Schwarz« bekannt, bringt in seinem neuen mehrteiligen Repetitorium einen ausführlichen Überblick über den derzeitigen Stand der Fernsehtechnik von der Kamera bis zum Heimempfänger.

Das Fernsehen als ein Übertragungsverfahren der elektrischen Nachrichtentechnik beruht auf der kontinuierlichen Umwandlung der Helligkeits- und Farbverteilung einer Bildvorlage in elektrische Signale, die zum Empfangsort geleitet und dort wieder in das entsprechende optische Bild umgewandelt werden. Sowohl von der Historie als auch von der Technik her baut das Fernsehen auf der Übertragung und Wiedergabe von Schwarzweiß-Bildern, also der Helligkeits- beziehungsweise Leuchtdichteverteilung der Bildvorlage, auf. Die weitere Entwicklung brachte dann die zusätzliche Übertragung der Farbinformation. Im Gegensatz zu relativ langsamen Verfahren der Festbildübertragung, zum Beispiel der Bildtelegrafie, erfolgt die Übertragung von festen und bewegten Bildvorlagen beim Fernsehen ohne subjektiv störende Bildunterbrechungen.

1. Übertragungsverfahren

Das Prinzip der Fernsehbildübertragung, hier bezogen auf die Schwarzweiß-Bildwiedergabe, läßt sich kurz folgendermaßen darstellen: Die optische Bildvorlage wird in kleine Bildelemente (Bildpunkte) aufgeteilt. Über einen optisch-elektrischen Wandler, meistens eine Kameraröhre, werden die einzelnen Bildpunkte nacheinander entsprechend ihrem Helligkeitsgrad in ein elektrisches Signal umgewandelt. Es folgt die Übertragung dieses Signals in seiner eigentlichen Frequenzlage oder moduliert auf einem hochfrequenten Träger. Empfangsseitig wird nach entsprechender Aufbereitung das elektrische Signal dem elektrisch-optischen Wandler, der Fernsehbildröhre, zugeführt und als ein Abbild der Helligkeitsverteilung der Bildvorlage wiedergegeben. Die kontinuierliche Übertragung von bewegten Bildvorlagen erreicht man – wie beim Kinofilm – durch Aufnahme einer Anzahl von Teilbildern.

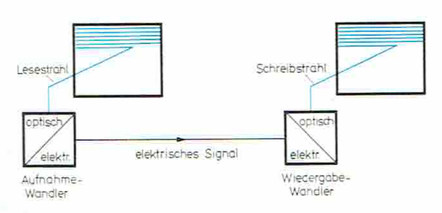


BILD 1 Prinzip der Fernsehbildübertragung.

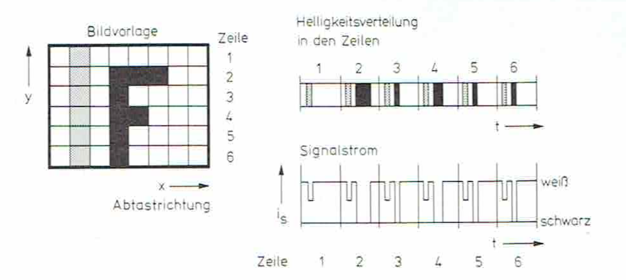


BILD 2 Zeitlicher Verlauf des Signalstroms bei zeilenweiser Abtastung einer Bildvorlage.

1.1 Bildabtastung

Die Abtastung der Bildvorlage geht zeilenweise von links nach rechts und von oben nach unten vor sich (BILD 1). Der Abtaststrahl wird dazu horizontal und vertikal abgelenkt. Es wird ein Zeilenraster geschrieben. Damit sich Lesestrahl und Schreibstrahl gleichzeitig in richtiger Zuordnung auf den jeweiligen Bildpunkt über die Bildfläche bewegen, werden Synchronzeichen übertragen.

Der Abtastvorgang bringt die einzelnen Bildpunkte von der geometrischen in eine zeitliche Zuordnung. In der Darstellung nach BILD 2 wird vereinfachend davon ausgegangen, daß der Abtaststrahl in vernachlässigbar kurzer Zeit an den linken Bildrand zurückkehrt. Im allgemeinen erhält man als Signalstrom eine sehr vielgestaltige Impulsfolge mit wechselndem zeitlichen Mittelwert, entsprechend dem mittleren Helligkeitswert der Bildvorlage. Dieser sowie auch sehr hohe Signalfrequenzkomponenten, bedingt durch feine Bilddetails, müssen dem Empfänger unverzerrt zugeführt werden. Daraus ergeben sich im wesentlichen die notwendigen Eigenschaften des Übertragungssystems.

1.2 Zeilenzahl

Die Qualität des wiedergegebenen Bildes wird durch die Auflösung bestimmt. Die Auflösung ist um so besser, je höher die Zeilenzahl ist. Eine Mindestzeilenzahl ist notwendig, damit die Rasterstruktur nicht störend in Erscheinung tritt. Dies kann jedoch nur im Zusammenhang mit dem Betrachtungsabstand des Fernsehbildes und dem Auflösungsvermögen des menschlichen Auges erörtert werden.

Als optimalen Betrachtungsabstand findet man etwa den fünffachen Wert der Bildhöhe, womit sich ein Wert von E/H = 5 ergibt (BILD 3). Bei diesem Betrachtungsabstand soll die Zeilenstruktur gerade nicht mehr sichtbar sein, das heißt, es soll die Grenze des Auflösungs-

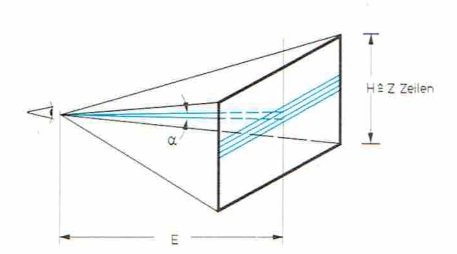


BILD 3 Sehwinkel bei der Betrachtung eines Fernsehbildes.

vermögens des menschlichen Auges erreicht werden. Der Grenzwinkel α beträgt unter normalen Bedingungen etwa $\alpha_o = 1{,}5'$. Aus dem Ansatz

$$\tan\alpha = \frac{H/Z}{E} \approx \widehat{\alpha} \qquad (1)$$

mit $\alpha = \alpha_o = 1{,}5'$ und $\tan\alpha_o \approx 4 \cdot 10^{-4}$ erhält man folgende Näherungsformel zur Berechnung der Mindestzeilenzahl:

$$Z = \frac{2500}{E/H}\,. \qquad (2)$$

Das bedeutet bei E/H = 5 eine Anzahl von Z = 500 sichtbaren Zeilen [1]. Nach der CCIR-Norm wurde ein Wert von 625 Zeilen für die gesamte Rasterfläche festgelegt, wovon wegen des vertikalen Strahlrücklaufes etwa 575 Zeilen im sichtbaren Bildfeld liegen (Nordamerika und Japan 525 Zeilen, davon etwa 475 sichtbar).

1.3 Bildwechselfrequenz

Bei der Festlegung der Bildwechselfrequenz sind die physiologischen Eigenschaften des menschlichen Auges zu berücksichtigen. Zunächst muß man davon ausgehen, daß zur Wiedergabe eines kontinuierlichen, schnellen Bewegungsvorgangs eine bestimmte Mindest-Teilbildfrequenz erforderlich ist, damit keine störenden Diskontinuitäten entstehen. Ein Wert von 16 bis 18 Teilbildern pro Sekunde, wie etwa in der Schmalfilmtechnik üblich, stellt die untere Grenze der Teilbildfrequenz dar. Beim Kinofilm arbeitet man mit 24 Teilbildern pro Sekunde. Dieser Wert könnte auch beim Fernsehen übernommen werden, doch es wurde hier mit Rücksicht auf eine Verknüpfung mit der Netzfrequenz ein Wert von $f_w = 25$ Hz bei 50 Hz Netzfrequenz gewählt und entsprechend 30 Hz bei 60 Hz Netzfrequenz in Nordamerika und Japan.

Die Bildwechselfrequenz von 25 Hz reicht jedoch für eine flimmerfreie Bildwiedergabe nicht aus. Dieses Problem galt es auch beim Kinofilm zu lösen, wo durch eine sogenannte Flimmerblende die Projektion jedes Einzelbildes einmal unterbrochen wird und somit der Eindruck der doppelten Bildwechselfrequenz entsteht.

Beim Fernsehen ist dies nicht möglich, hier hat man jedoch eine Lösung mit dem „Zeilensprungverfahren“ gefunden. Die Zeilen des gesamten Rasters werden auf zwei Halbraster aufgeteilt, die ineinander verschachtelt sind und die zeitlich nacheinander übertragen werden. Jedes Halbraster enthält Z/2 Zeilen und läuft in der Zeit $T_w/2$ ab. Das bedeutet, daß dem 1. Halbraster die Zeilen 1, 3, 5, . . . und dem 2. Halbraster die Zeilen 2, 4, 6, . . . zugeschrieben werden (geometrische Zeilennumerierung) (BILD 4).

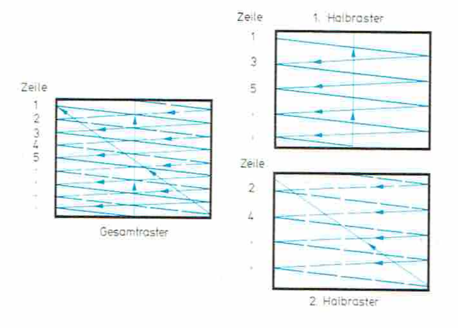


BILD 4 Aufteilung des Gesamtrasters beim Zeilensprungverfahren.

Bei der Wiedergabe der beiden Halbraster muß dafür gesorgt werden, daß diese genau ineinander geschrieben werden, da andernfalls durch eine Paarigkeit der Zeilen das Halbraster sehr störend hervortreten würde. In einem System mit ungerader Zeilenzahl, beispielsweise bei 625 Zeilen, findet der Übergang vom 1. zum 2. Halbraster nach der Hälfte der letzten Zeile des 1. Halbrasters statt. Man erspart sich in diesem Fall ein besonderes Hilfssignal zum periodischen Versatz der beiden Halbraster. In Abschnitt 2.2 wird hierauf noch eingegangen.

Statt 25 Vollbilder mit je 625 Zeilen werden also 50 Halbbilder mit je 312½ Zeilen übertragen. Es ergibt sich somit eine Halbbildwechselfrequenz (Rasterwechselfrequenz) oder Vertikalfrequenz von $f_v = 50$ Hz. Daraus leitet sich eine Zei-

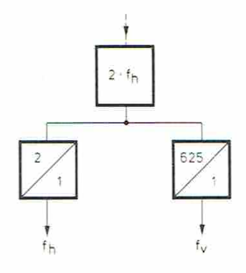


BILD 5 Verkopplung der Horizontal- und Vertikalablenkfrequenz beim Zeilensprungverfahren nach dem CCIR-Standard.

lenwechselfrequenz oder Horizontalfrequenz ab von

$$f_h = 25 \cdot 625 = 50 \cdot 312^1/_2 = 15\,625 \text{ Hz}.$$

Die Periodendauer der Horizontalablenkung beträgt $T_h = 64\,\mu s$, die der Vertikalablenkung $T_v = 20$ ms. Horizontal- und Vertikalfrequenz müssen synchron und phasenstarr miteinander verkoppelt sein. Man erreicht dies durch Ableitung der beiden Frequenzen aus der doppelten Horizontalfrequenz (BILD 5).

1.4 Bandbreite des Bildsignals

Die Auflösung des zu übertragenden Bildes wird durch die Zeilenzahl bestimmt. Bei gleicher Auflösung in horizontaler und vertikaler Richtung ist die Bildpunktbreite b gleich dem Zeilenabstand a (BILD 6). Der Abtaststrahl muß nach

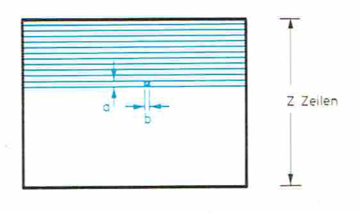
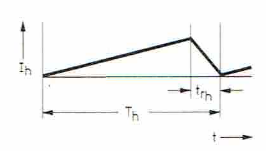


BILD 6 Auflösung der Bildvorlage durch das Zeilenraster.

Durchlaufen jeder Zeile und jedes Teilbildes wieder zurückgeführt werden. Dazu sind Rücklaufzeiten notwendig. Während des Strahlrücklaufes werden sowohl der Lese- als auch der Schreib-

strahl ausgeblendet. Die benötigten Rücklaufzeiten, bezogen auf die Periodendauer T_h der Horizontalablenkung



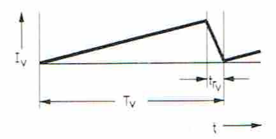


BILD 7 Periodendauer der Horizontal- und Vertikalablenkung mit Rücklaufzeiten.

beziehungsweise T_v der Vertikalablenkung, sind in BILD 7 angegeben.

Sie betragen gemäß CCIR-Norm:

$t_{r_h} = 0{,}18 \cdot T_h = 11{,}52\ \mu s,$

$t_{r_v} = 0{,}08 \cdot T_v = \ \ 1{,}6\ \ ms.$

Von der gesamten Zeilenperiodendauer T_h steht somit zur Übertragung des Bildinhalts nur die Zeit $T_h \cdot (1-0{,}18) = 52{,}48\ \mu s$ und von der gesamten, der Periodendauer $T_w = 2 \cdot T_v$ des Rasterwechsels zugeordneten Zeilenzahl Z nur der Anteil $Z \cdot (1-0{,}08) = 575$ Zeilen zur Bildübertragung zur Verfügung. Man erhält damit für das sichtbare Bildfeld eine reduzierte Rasterfläche (BILD 8).

Aus optisch-ästhetischen Gründen wählt man für das sichtbare Bild ein rechteckiges Format mit einem Verhältnis der Seiten von 4:3. Bei gleicher Auflösung in horizontaler und vertikaler Richtung berechnet sich hieraus eine Bildpunktanzahl pro Zeile von

$$\frac{4}{3} \cdot 625 \cdot (1-0{,}08) = 767$$

und die gesamte Anzahl der Bildpunkte pro Bild von

$$\frac{4}{3} \cdot 625 \cdot (1-0{,}08) \cdot 625 \cdot (1-0{,}08)$$
$$= 440\,833.$$

Diese Anzahl der Bildpunkte wird übertragen während einer Zeit von

$$64\ \mu s \cdot (1-0{,}18) \cdot 625 \cdot (1-0{,}08)$$
$$= 30{,}176\ ms.$$

Somit ergibt sich die Zeit T_{BP} zum Durchlaufen eines Bildpunktes zu

$$T_{BP} = \frac{30{,}176\ ms}{440\,833} = 0{,}0684\ \mu s.$$

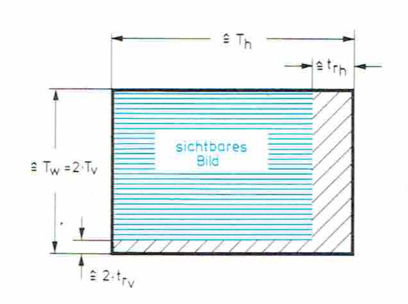


BILD 8 Durch Rücklaufzeiten reduzierte Rasterfläche.

Die höchste Bildsignalfrequenz tritt auf, wenn helle und dunkle Bildpunkte aufeinanderfolgen (BILD 9). Es ist dann die Periodendauer des Bildsignals

$$T_B = 2 \cdot T_{BP} = 0{,}137\ \mu s.$$

Wegen des endlichen Durchmessers des Abtaststrahls ergibt sich eine Verschleifung der Hell-Dunkel-Kante, so daß es

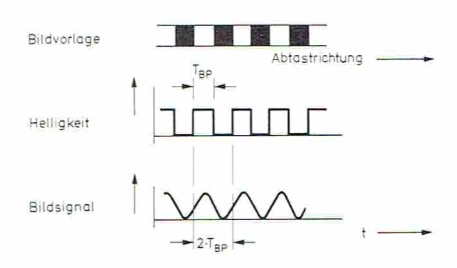


BILD 9 Verschleifung des Bildsignals als Folge des endlichen Strahldurchmessers.

genügt, die Grundschwingung des rechteckförmigen Bildsignals zu übertragen. Dies führt zu einer maximalen Bildsignalfrequenz von

$$f_{B\,max} = \frac{1}{T_B} = 7{,}3\ MHz.$$

Unter Berücksichtigung eines endlichen Strahldurchmessers ergibt sich schließlich noch eine gegenüber dem Ansatz verminderte Vertikalauflösung, die durch den sogenannten Kell-Faktor K ausgedrückt wird. Mit einem Wert für K von etwa 2/3 erhält man dann die Bandbreite des Bild- oder Videosignals zu

$$B = 5\ MHz.$$

Dieser Wert ist auch in der CCIR-Norm festgelegt.

Wird fortgesetzt.

Rudolf Mäusl

LITERATUR

[1] Theile, R.: Fernsehtechnik, Band 1: Grundlagen. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg, New York, 1973.

2. BAS-Signal

Unter dem BAS-Signal versteht man das komplette Fernsehsignal, das sich aus dem Bildsignal (B), dem Austastsignal (A) und dem Synchronsignal (S) zusammensetzt. Das Bildsignal ist bereits in Abschnitt 1 erläutert worden.

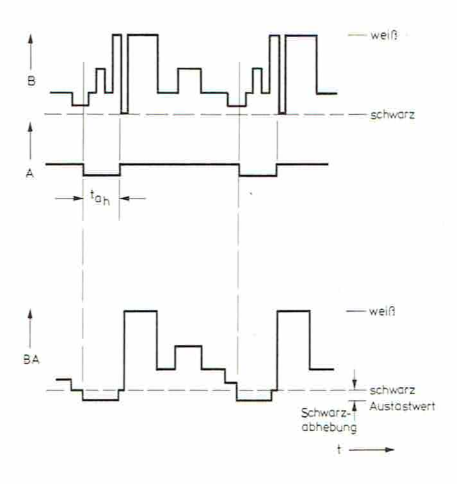


BILD 10 Horizontal-Austastsignal und Bildung des BA-Signals.

2.1 Austastsignal

Während des horizontalen und vertikalen Strahlrücklaufs wird das Bildsignal unterbrochen, es wird „ausgetastet".

Der Signalpegel wird auf einem definierten Austastwert festgehalten. Dieser ist nahezu oder gleich dem Schwarzwert des Bildsignals. Auf eine früher noch vorgenommene Unterscheidung des Austastwertes vom Schwarzwert durch die Schwarzabhebung wird heute zugunsten einer besseren Ausnutzung des gesamten Pegelbereiches meistens verzichtet. Die Austastung erfolgt durch das Austastsignal, das aus den Horizontal-Austastimpulsen mit der Dauer

$$t_{a_h} = 0{,}18 \cdot T_h$$

und den Vertikalaustastimpulsen mit der Dauer

$$t_{a_v} = 0{,}08 \cdot T_v$$

gebildet wird. Das von der Bildsignalquelle kommende Signal wird so zum BA-Signal (BILD 10).

2.2 Synchronsignal

Damit das Fernsehbild am Empfänger synchron und rastergleich mit der Aufnahmeseite wiedergegeben wird, werden Synchronsignale übertragen. Diese steuern die Ablenkeinrichtungen auf der Sende- und Empfangsseite. Pegelmäßig liegen die Synchronsignale unter dem Austastwert; sie entsprechen also einem Signalniveau „schwärzer als schwarz" (BILD 11).

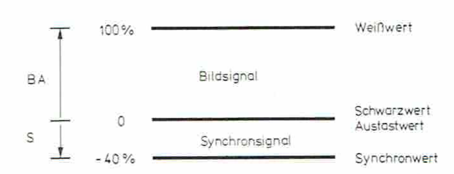


BILD 11 Aussteuerbereich des BAS-Signals.

In dem genannten Pegelbereich müssen Synchronsignale für die Horizontal- und Vertikalablenkung mit eindeutig unterscheidbaren Merkmalen übertragen

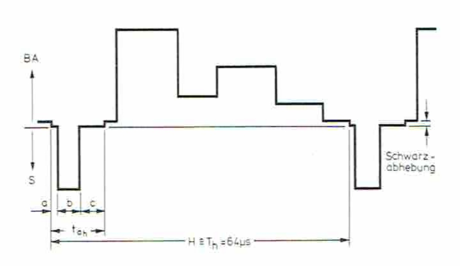


BILD 12 Horizontal-Synchronsignal.

werden. Dies erfolgt durch unterschiedliche Impulsdauer. Empfängerseitig ist damit und durch die unterschiedliche Folgefrequenz eine einfache Trennung in Horizontal- oder Zeilensynchronimpulse und Vertikal- oder Bildsynchronimpulse möglich.

Das Horizontal-Synchronsignal wird über ein Differenzierglied aus dem Synchron-

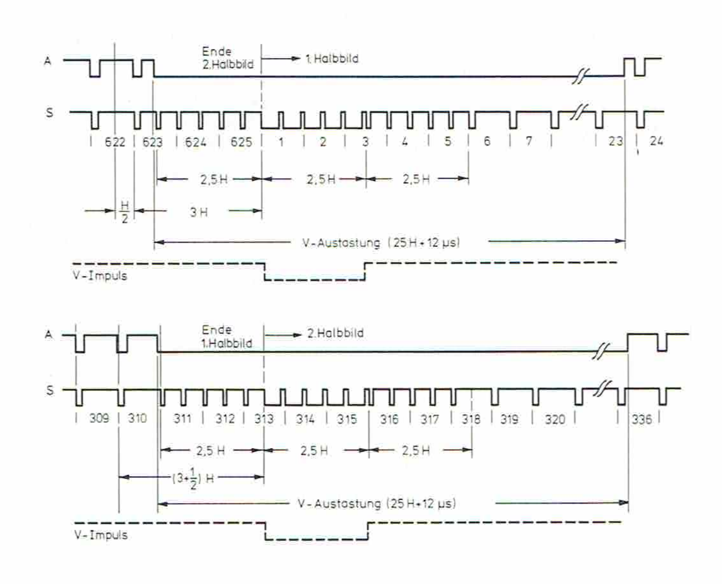


BILD 13 Vertikal-Synchronsignal mit Vor- und Nachimpulsen.

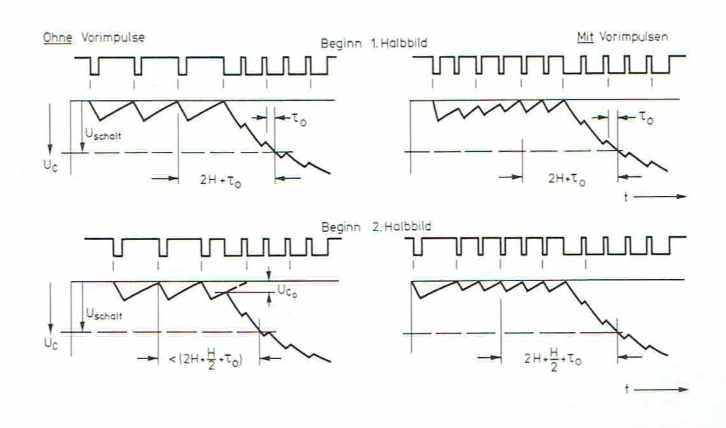


BILD 14 Bedeutung der Vorimpulse.
Links: Integration des V-Synchronimpulses ohne Vorimpulse;
rechts: Integration des V-Synchronimpulses mit Vorimpulsen.

signalgemisch ausgesiebt. Damit bestimmt die Vorderflanke des Impulses, dessen Dauer etwa 4,5 bis 5 µs beträgt, das Einsetzen der Synchronisierung, und zwar beim Strahlrücklauf. Die sogenannte vordere Schwarzschulter bietet dabei die Sicherheit, daß der Zeilenrücklauf bestimmt in die Austastlücke t_{ah} fällt (BILD 12). Die hintere Schwarzschulter dient als Bezugspegel. Sie wird aber auch für die Übertragung zusätzlicher Signale genutzt, zum Beispiel des Farbsynchronsignals.

Innerhalb der Vertikal-Austastlücke wird der Vertikal-Synchronimpuls übertragen. Er ist mit 2,5 H-Perioden (2,5·64 µs) wesentlich länger als der Horizontal-Synchronimpuls (etwa 0,07 H-Perioden). Damit die Folge der Horizontal-Synchronimpulse stetig bleibt, wird der Vertikal-Synchronimpuls im Abstand von H/2 kurz unterbrochen. Die in BILD 13 markierten Stellen erzeugen die für die Horizontal-Synchronisierung notwendigen Impulsflanken. Wegen des Halbzeilenversatzes der beiden Teilraster erfolgt die Unterbrechung im Abstand von H/2. Das Zeilensprungverfahren bedingt auch, daß der Vertikal-Synchronimpuls um H/2 relativ zum Horizontal-Synchronsignal von einem Halbbild zum andern verschoben ist.

Nachdem der Vertikal-Synchronimpuls durch Integration aus dem Synchronsignalgemisch gewonnen wird, ergäben sich durch die Halbzeilenverschiebung in beiden Halbbildern unterschiedliche Anfangsbedingungen für den Integrationsvorgang (BILD 14 links). Dies könnte zu einer Paarigkeit der Rasterzeilen führen. Es werden deshalb dem eigentlichen Vertikal-Synchronimpuls fünf schmale Ausgleichsimpulse, die Vorimpulse oder Vortrabanten, jeweils im Abstand von H/2 vorausgeschickt, damit in jedem Halbbild gleiche Anfangsbedingungen für die Integration herrschen (BILD 14 rechts). In ähnlicher Weise sorgen fünf Nachimpulse für eine gleichmäßige Rückflanke der integrierten Vertikal-Teilimpulse.

Zur Zählweise der Zeilen in BILD 13 ist noch folgendes zu sagen: In der Fernsehtechnik ist es üblich, die aufeinanderfolgend übertragenen Zeilen durchlaufend zu numerieren. Das 1. Halbbild beginnt mit der Vorderflanke des Vertikal-Synchronimpulses, und es weist 312½ Zeilen auf. Davon fallen die ersten 22½ Zeilen in die Vertikal-Austastlücke. Das 2. Halbbild beginnt nach 312½ Zeilen in der Mitte der 313. Zeile auch mit der Vorderflanke des Vertikal-Synchronimpulses und endet mit der 625. Zeile.

Das komplette Synchronsignal wird in einer Signalmischstufe pegelgerecht dem BA-Signal zugesetzt. Man erhält damit das BAS-Signal.

3. Hochfrequente Übertragung des Bild- und Tonsignals

Zur drahtlosen Übertragung des Bildsignals und auch für manche Sonderfälle wird das BAS-Signal einer hochfrequenten Trägerschwingung aufmoduliert. Beim Fernseh-Rundfunk sowie in Systemen, in denen übliche Fernsehempfänger verwendet werden, geschieht dies durch Amplitudenmodulation. Bei der Fernsehsignalübertragung in Richtfunksystemen arbeitet man wegen der höheren Übertragungsqualität mit Frequenzmodulation.

3.1 Restseitenband-Amplitudenmodulation

Der Vorteil der Amplitudenmodulation liegt in der geringeren Bandbreite des Modulationsproduktes. Bei üblicher Amplitudenmodulation (AM) wird mit einer Bandbreite des modulierenden BAS-Signals von B = 5 MHz eine hochfrequente Übertragungsbandbreite von B_{HF} = 10 MHz beansprucht (BILD 15 oben). Prinzipiell könnte man auch ein

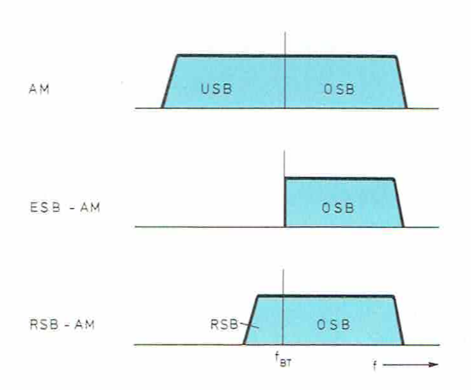


BILD 15 Hochfrequente Übertragung des BAS-Signals durch Modulation des Bildträgers.

Oben: Amplitudenmodulation, Träger mit zwei Seitenbändern;

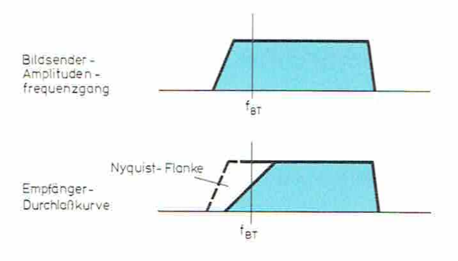
Mitte: Einseitenband-Amplitudenmodulation;

unten: Restseitenband-Amplitudenmodulation.

Seitenband unterdrücken, da der Signalinhalt in beiden Seitenbändern gleichermaßen enthalten ist. Man käme so zur Einseitenband-Amplitudenmodulation (ESB – AM) (BILD 15 Mitte).

Wegen der bis zu sehr niedrigen Frequenzen reichenden Modulationssignale und der deshalb notwendigen steilflankigen Filter ergeben sich jedoch Schwierigkeiten durch die Gruppenlaufzeitverzerrungen dieser Filter an der Grenze des Durchlaßbereiches.

Das Problem wird dadurch umgangen, daß anstelle der reinen Einseitenband-Amplitudenmodulation die Restseitenband-Amplitudenmodulation (RSB – AM) angewendet wird. Es wird dabei ein Seitenband vollständig und das andere Seitenband nur teilweise übertragen (BILD 15 unten). Empfängerseitig muß dafür gesorgt werden, daß die Signalfrequenzen im Bereich des Restseitenbandes nach der Demodulation nicht mit doppelter Amplitude erscheinen. Man erreicht dies durch eine um die Frequenz des Bildträgers frequenzlinear ansteigende beziehungsweise abfallende Selektionskurve des Empfängers mit der sogenannten Nyquist-Flanke (BILD 16).



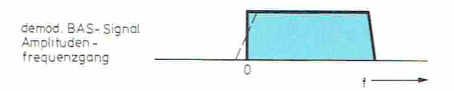
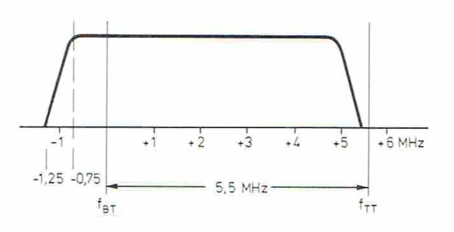


BILD 16 Korrektur des Amplitudenfrequenzgangs bei Restseitenband-Übertragung durch ein Nyquist-Filter.

Nach der CCIR-Norm werden im VHF-Bereich 7 MHz breite und im UHF-Bereich 8 MHz breite Frequenzbänder für den Fernseh-Rundfunk bereitgestellt. Der Bildsender-Amplitudenfrequenzgang und die Empfängerdurchlaßkurve sind ebenfalls durch eine CCIR-Norm vorgegeben (BILD 17). Modulation und Demodulation des BAS-Signals erfolgen meistens im Zwischenfrequenzbereich, für den die Bildträgerfrequenz bei 38,9 MHz und die Tonträgerfrequenz bei 33,4 MHz festgelegt ist.



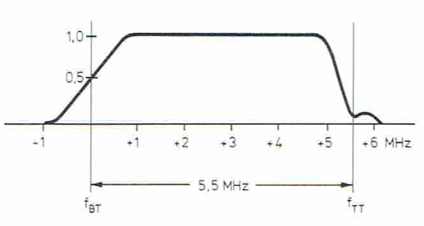


BILD 17 CCIR-Norm für den Bildsender-Amplitudenfrequenzgang (oben) und die Empfänger-Durchlaßkurve (unten).

Die Modulation des hochfrequenten Bildträgers durch das BAS-Signal geschieht als negative Amplitudenmodulation, das heißt, hellen Bildstellen entspricht eine niedrige Trägeramplitude, und der Synchronimpuls ruft maximale Trägeramplitude hervor (BILD 18). Ein Restträgerwert (Weißwert) von 10 % ist notwendig wegen der Anwendung des Intercarrier-Tonträgerverfahrens im Empfänger. Der Vorteil der Negativmodulation liegt unter anderem in einer günstigen Ausnutzung des Senders, weil die Maximalleistung nur kurzzeitig während der Synchronspitzen aufgebracht werden muß sowie in der periodisch während der Synchronimpulse auftretenden Maximalamplitude als Bezugswert für eine automatische Verstärkungsregelung im Empfänger.

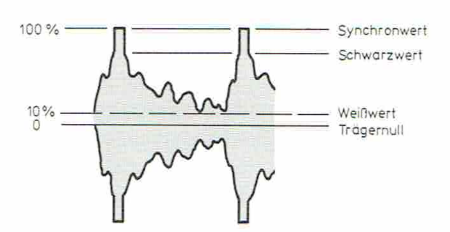


BILD 18 Negative Amplitudenmodulation des hochfrequenten Bildträgers durch das BAS-Signal.

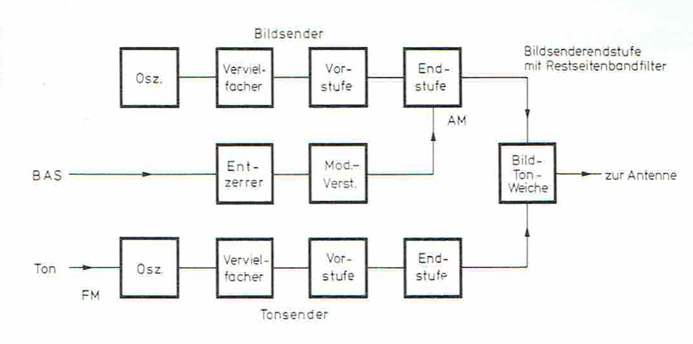
3.2 Tonsignalübertragung

Das Tonsignal wird beim Fernseh-Rundfunk durch Frequenzmodulation des hochfrequenten Tonträgers übertragen. Gemäß CCIR-Norm liegt die Frequenz des Tonträgers um 5,5 MHz oberhalb des zugehörigen Bildträgers. Der Frequenzhub beträgt maximal 50 kHz. Das Verhältnis von Tonträgerleistung zu Bildträgerleistung wurde von ursprünglich 1:5 auf Grund gewisser Störungen bei der Farbübertragung auf 1:10 beziehungsweise 1:20 reduziert [2]. Selbst bei letzterem Wert zeigte sich bei ausreichendem Signal für ein einwandfreies Bild keine Verschlechterung der Tonqualität.

Wie bereits erwähnt, wendet man im Fernsehempfänger meistens das Intercarrier-Tonträgerverfahren an. Aus Tonträgerfrequenz und Bildträgerfrequenz wird die Differenzfrequenz von 5,5 MHz gewonnen. Dieses Signal ist mit der Toninformation frequenzmoduliert. Die Frequenz des Intercarrier-Tonträgers ist konstant und wird nicht durch eine Fehlabstimmung oder durch Schwankungen des Empfängeroszillators beeinflußt.

Neuere Untersuchungen zeigen weitere Möglichkeiten der Tonsignalübertragung beim Fernsehen auf, insbesondere auch im Hinblick auf die gleichzeitige Übertragung von mehreren Tonsignalen. Ein zweiter Tonkanal ermöglicht zum Beispiel mehrsprachige Übertragungen oder Stereobetrieb.

BILD 19 Blockschaltung eines Fernsehsenders mit Endstufenmodulation im Bildsender.



Beim Zwei-Tonträger-Verfahren wird ein zusätzlicher Tonträger im Abstand von 250 kHz oberhalb des eigentlichen Tonträgers frequenzmoduliert. Sein Leistungspegel liegt um 6 dB niedriger als der des ersten Tonträgers. Weitere Möglichkeiten ergeben sich nach einem Multiplexverfahren durch Modulation eines Hilfsträgers bei der doppelten Zeilenfrequenz oder durch Ausnutzung der horizontalen oder vertikalen Austastlücken in Verbindung mit Pulsmodulationsverfahren.

3.3 Fernsehsender und Schwarzweiß-Empfänger

Die Erzeugung des hochfrequenten Fernsehsignals ist nach zwei verschiedenen Verfahren möglich:

Bei der Endstufenmodulation im Bildsender (BILD 19) wird die hochfrequente Bildträgerschwingung zunächst auf die notwendige Steuerleistung gebracht und dann in der Bildsenderendstufe bei gleichzeitiger Amplitudenmodulation auf die nominelle Bildträgerleistung des Senders verstärkt. In die Bildsenderendstufe ist das Restseitenbandfilter mit einbezogen. Der Modulationsverstärker muß das breitbandige BAS-Signal auf den zur Amplitudenmodulation in der Endstufe erforderlichen Wert bringen. Die Frequenzmodulation des Tonträgers erfolgt mit geringem Hub bei einer relativ niedrigen Frequenz. Über Vervielfacherstufen werden die Endfrequenz sowie der eigentliche Frequenzhub erzeugt. Bildsenderendstufe und Tonsenderendstufe werden über die Bild-Ton-Weiche zusammen an eine gemeinsame Antenne geführt.

Nach dem Verfahren der ZF-Modulation (BILD 20) wird zunächst ein ZF-Bildträger bei 38,9 MHz amplitudenmoduliert. Durch das nachfolgende Filter wird eine Restseitenband-Amplitudenmodulation erzeugt. Auch ein oder zwei Tonträger werden in der ZF-Ebene frequenzmoduliert. Anschließend folgt im Bild- und im Tonkanal die Umsetzung mit einem gemeinsamen Träger, so daß auch in der HF-Ebene der Bild/Tonträger-Abstand von 5,5 MHz eingehalten wird. Über lineare Verstärkerstufen werden Bildträgerleistung und Tonträgerleistung auf den erforderlichen Wert gebracht.

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß die eigentliche Aufbereitung des hochfrequenten Fernsehsignals in der ZF-Ebene, und damit bei niedrigerer Frequenz, sowie band- und kanalunabhängig erfolgt. Zur weiteren Verstärkung sind allerdings, zumindest im Bildsenderteil, sehr lineare Verstärkerstufen notwendig.

Die Wiedergabe des Fernsehbildes im Empfänger setzt zunächst eine entsprechende Verstärkung des von der Antenne aufgenommenen hochfrequenten Fernsehsignals voraus (BILD 21). Dazu wird das Signal im VHF-UHF-Tuner in die

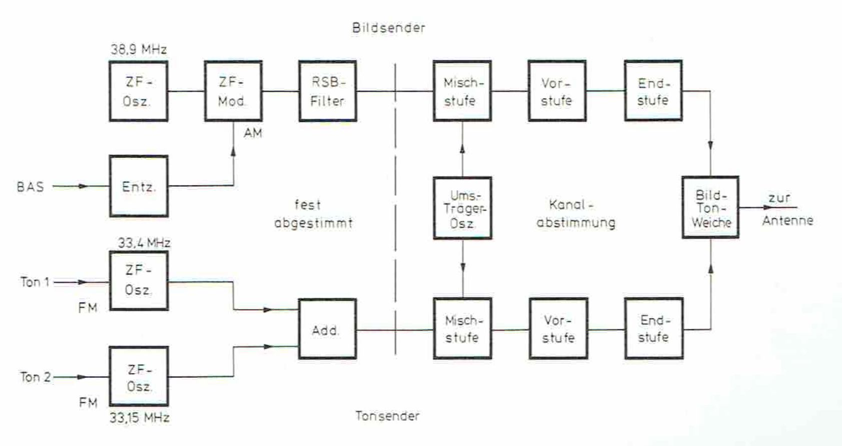


BILD 20 Blockschaltung eines Fernsehsenders mit Modulation in der Zwischenfrequenz beim Bild- und Tonsender.

TABELLE 1 **Frequenzbereiche, Bild/Tonträger-Abstand, Kanalbreite, Tonmodulation**

Norm Standard	**CCIR** B, G	**OIRT** D	**Franz.-VHF** E	**FCC (USA)** M
VHF, Bereich I / MHz	47...68	48,5...100	50...70	54...88
VHF, Bereich III / MHz	174...230	174...230	160...215	174...216
UHF, Bereich IV/V / MHz	470...853			470...890
Bild/Tonträger-Abstand	5,5 MHz	6,5 MHz	11,15 MHz	4,5 MHz
Kanalbreite	7 MHz (B) 8 MHz (G)	8 MHz	13,15 MHz	6 MHz
Tonmodulation, FM-Hub	FM, 50 kHz	FM, 50 kHz	AM	FM, 25 kHz

TABELLE 2 **BAS-Signal**

Norm Standard	**CCIR** B, G	**OIRT** D	**Franz.-VHF** E	**FCC (USA)** M
Zeilenzahl	625	625	819	525
Rasterwechselfrequenz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	60 Hz
Zeilenfrequenz	15 625 Hz	15 625 Hz	20 475 Hz	15 750 Hz
Videobandbreite	5 MHz	6 MHz	10,6 MHz	4,2 MHz
Zeilendauer H	64 µs	64 µs	48,84 µs	63,5 µs
Halbbilddauer	20 ms	20 ms	20 ms	16,667 ms

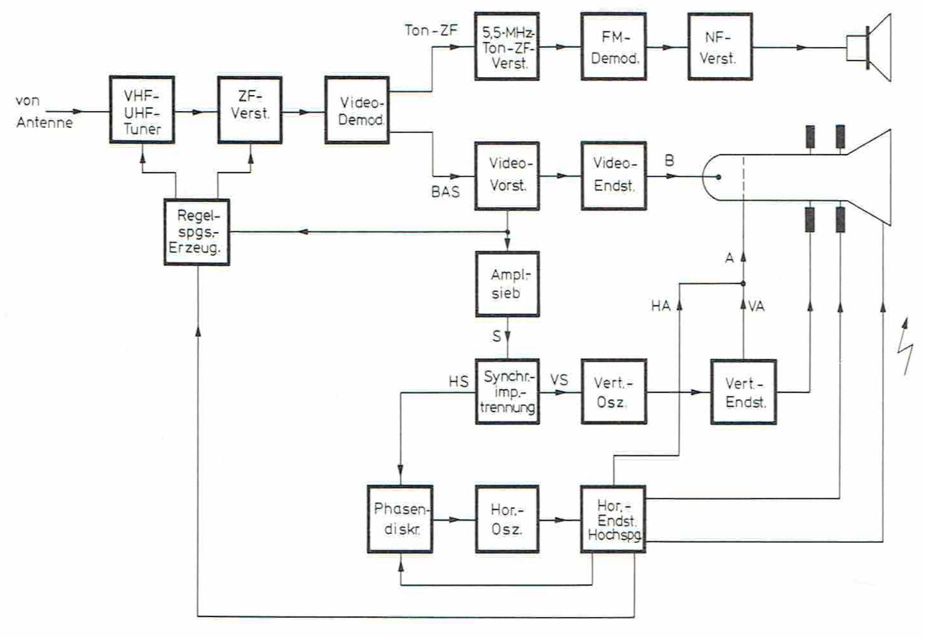


BILD 21 Blockschaltung eines Schwarzweiß-Fernsehempfängers.

Zwischenfrequenz umgesetzt, wo es die normgerechte Selektion durch das Nyquist-Filter und die notwendige Verstärkung erfährt. Im nachfolgenden Demodulator werden das BAS-Signal sowie die 5,5-MHz-Ton-Zwischenfrequenz gewonnen. Letzteres Signal wird amplitudenbegrenzt, verstärkt und frequenzdemoduliert. Das BAS-Signal gelangt in den Videoverstärker, von wo es, vom Synchronsignal befreit, über die Videoendstufe zur Steuerstrecke der Bildröhre gelangt. Aus dem Videoverstärker wird andererseits über ein Amplitudensieb das Synchronsignal ausgekoppelt, das über ein Differenzierglied dem Horizontal- und über ein Integrierglied dem Vertikalablenkteil zugeführt wird.

Im Horizontaloszillator wird die Zeilenablenkfrequenz erzeugt, die ein Phasendiskriminator mit den empfangenen Horizontal-Synchronimpulsen vergleicht. Eine Regelschaltung sorgt dafür, daß der Frequenz- und Phasenbezug zum sendeseitigen Synchronsignal eingehalten wird. In der Horizontalendstufe wird die notwendige Ablenkleistung erzeugt sowie aus den Zeilenrücklaufimpulsen die Hochspannung für die Bildröhre gewonnen. Der Vertikaloszillator wird direkt vom Vertikal-Synchronsignal her synchronisiert. Aus der Horizontal- und Vertikalendstufe werden die für die Strahlrücklaufausblendung notwendigen Austastimpulse entnommen.

3.4 Fernsehnormen

Die in den Abschnitten 1, 2 und 3 angeführten Eigenschaften der Fernsehsignale beziehen sich auf die CCIR-Norm. Davon abweichend sind verschiedene Eigenschaften in weiteren noch gebräuchlichen Normen festgelegt (TABELLE 1 und 2).

Wird fortgesetzt. Rudolf Mäusl

[2] Mangold, H.: Fernseh-Versuchsbetrieb in der BRD mit Bild/Tonträger-Leistungsverhältnis 20:1. Neues von Rohde & Schwarz (1975) Nr. 69, S. 38.



Fernsehtechnik (III)

4. Hinzunahme der Farbinformation

Zur Wiedergabe eines farbigen Abbildes der Bildvorlage muß neben der Helligkeits- beziehungsweise Leuchtdichteverteilung noch zusätzlich eine Information über die Farbverteilung, das heißt über die „Farbart“ der einzelnen Bildpunkte übertragen werden. Dies setzt zunächst die Gewinnung der Farbinformation voraus und dann auch eine Möglichkeit der Farbbildwiedergabe.

4.1 Problematik

Die Problematik der Farbbildübertragung liegt darin, das beim Schwarzweiß-Fernsehen benutzte Übertragungsverfahren beizubehalten und die zusätzliche Farbinformation möglichst innerhalb des verfügbaren Frequenzbandes des BAS-Signals dem Empfänger zu übermitteln. Das bedeutet für ein Farbfernsehsystem, daß ein darin übertragenes Farbbildsignal von einem Schwarzweiß-Empfänger als einwandfreies Schwarzweiß-Bild

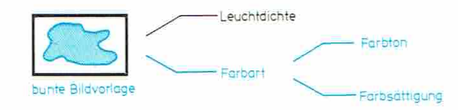


BILD 22 Darstellung einer bunten Bildvorlage durch Angabe der Leuchtdichte und Farbart.

wiedergegeben wird (Kompatibilität) und andererseits aber auch, daß ein Farbfernsehempfänger ein übertragenes Schwarzweiß-Bild als einwandfreies Schwarzweiß-Bild wiedergibt (Rekompatibilität).

Diese Forderungen können nur erfüllt werden, wenn aus der Farbbildvorlage

- eine Information über die Helligkeits- beziehungsweise Leuchtdichteverteilung sowie
- eine Information über die Farbverteilung

gewonnen und übertragen werden.

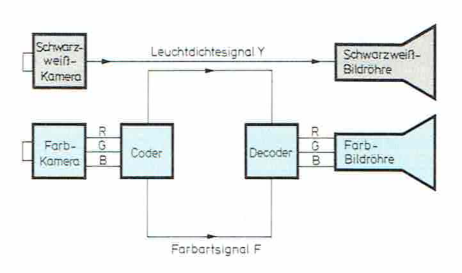


BILD 23 Schema der kompatiblen Farbbildübertragung.

Die Farbart ist gekennzeichnet durch den Farbton – bestimmt durch die dominierende Wellenlänge des Lichtes, zum Beispiel für bestimmte Farben wie Blau, Grün, Gelb, Rot – und durch die Farbsättigung als ein Maß für die spektrale Reinheit, das heißt für die Intensität der Farbe gegenüber dem Unbunten (Weiß) (BILD 22). Das Farbartsignal kann aus der Bildvorlage nicht direkt gewonnen werden. Es wird vielmehr gemäß der Dreifarbentheorie (Helmholtz) von den drei Farbauszügen (Rot, Grün, Blau) ausgegangen. Auch bei der Farbbildwiedergabe werden das Rot-, Grün- und Blausignal benötigt. Man erhält so das Schema der kompatiblen Farbbildübertragung durch Leuchtdichtesignal Y und Farbartsignal F (BILD 23).

4.2 Grundlagen der Farbenlehre und Farbmetrik

Als „Licht“ wird der Teil der elektromagnetischen Strahlung bezeichnet, der vom menschlichen Auge wahrgenommen wird. Es umfaßt den Wellenlängenbereich von etwa 400 nm (violett) bis 700 nm (rot). Das von der Sonne ausgestrahlte Licht besteht aus einer Vielzahl von Spektralfarben, die fließend ineinander übergehen. Spektralfarben sind gesättigte Farben. Durch Mischung mit weißem Licht entstehen ungesättigte Farben.

Eine farbige (bunte) Lichtstrahlung kann durch ihre spektrale Energieverteilung gekennzeichnet werden. Die Strahlung mit der Wellenlänge λ ruft im Auge die Empfindungen „Helligkeit“ und „Farbe“ hervor. Die von der Wellenlänge abhängige Hellempfindung des menschlichen Auges wird durch die „Augenempfindlichkeitskurve“ oder „Hellempfindlichkeitskurve“ ausgedrückt (BILD 24). Sie gibt an, wie hell das Auge die einzelnen Spektralfarben beurteilt, wenn diese mit gleicher Energie auf das Auge treffen.

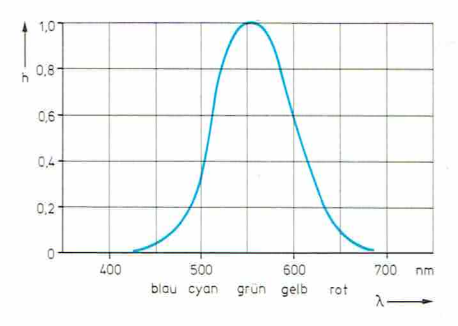


BILD 24 Hellempfindlichkeitskurve des menschlichen Auges.

Daraus ist zu entnehmen, daß gewisse Farben „dunkel“ (z. B. Blau) und andere Farben „hell“ (z. B. Grün) empfunden werden.

Beim Schwarzweiß-Fernsehen, bei dem von einer farbigen Bildvorlage nur die Helligkeitsverteilung übertragen wird,

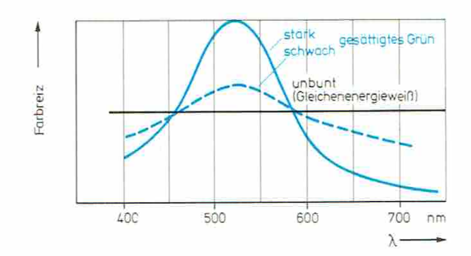


BILD 25 Farbreizfunktion bei verschiedenem Sättigungsgrad.

muß diese Hellempfindlichkeitskurve des Auges berücksichtigt werden. Dies geschieht durch die spektrale Empfindlichkeit der Kameraröhre und eventuelle Korrekturfilter im Zusammenhang mit der Farbtemperatur der Beleuchtung.

Die Farben von Gegenständen, die sogenannten Körperfarben, sind diejenigen Farben, die aus dem Licht, mit dem der

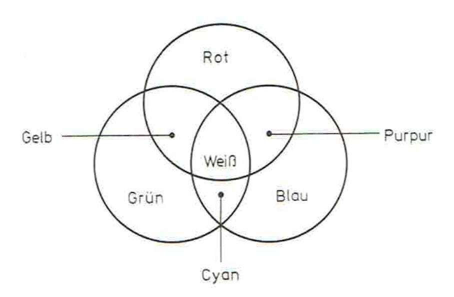


BILD 26 Additive Farbmischung mit den drei Grundfarben R, G, B.

Gegenstand bestrahlt wird, reflektiert werden. Die Farbreizfunktion gibt die zugehörige Spektralverteilung an (BILD 25). Meist handelt es sich bei den Körperfarben nicht um Spektralfarben, sondern um Mischfarben, die aus einer Anzahl von nahe beisammen liegenden Spektralfarben oder aus mehreren Gruppen von Spektralfarben gebildet werden. Es liegt eine additive Farbmischung vor. Auch Weiß (Unbunt) kann als „Mischfarbe“ entstehen. Typische Beispiele für eine additive Farbmischung zeigt BILD 26.

Untersuchungen über das Farbreizempfinden des menschlichen Auges haben ergeben, daß ein Farbeindruck über die Mischung der Teilempfindungen in den Grundfarben Rot, Grün und Blau zustande kommt. Daraus läßt sich ableiten, daß man jede in der Natur vorkommende Farbe durch entsprechende Anteile von drei Primär-Farbstrahlungen Rot, Grün und Blau zusammensetzen kann.

Nach der Dreifarbentheorie von Helmholtz fand Graßmann (1854) folgende Gesetzmäßigkeit:

$$F = R(R) + G(G) + B(B). \qquad (3)$$

Das bedeutet, daß ein bestimmter Farbreiz F durch R Anteile der Spektralfarbe Rot (R), G Anteile der Spektralfarbe Grün (G) und B Anteile der Spektralfarbe Blau (B) dargestellt werden kann.

Als Norm-Spektralfarben, sogenannte „Primärfarben“ oder „Primärreize“, wurden monochromatische Strahlungen mit den Wellenlängen

$\lambda_R = 700$ nm, $\lambda_G = 546{,}1$ nm und $\lambda_B = 435{,}8$ nm

festgelegt. Keine der drei Primärfarben darf aus den beiden anderen ermischbar sein.

Auf der Grundlage der Farbgleichung (Gl. 3) wurden nun Farbmischkurven ermittelt, die für jede Spektralfarbe das erforderliche Verhältnis der Primärreize angeben (BILD 27). Der Ordinatenmaßstab ist durch die Bezugnahme auf das Gleichenergieweiß bedingt. Den Kurven ist zu entnehmen, daß einzelnen Anteilen negative Farbwerte zugeordnet werden. Das bedeutet, daß zur Nachbildung bestimmter Spektralfarben zu dem betreffenden Farbreiz noch ein gewisser Anteil eines Primärreizes hinzugefügt werden muß.

In einer farbmetrischen Darstellung eines Farbreizes ergibt sich mit den drei Primärreizanteilen ein räumlicher Farbvektor. Die Richtung des Farbvektors

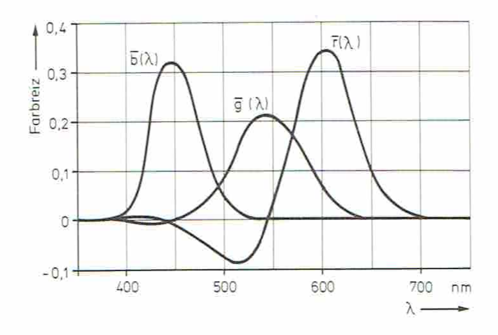


BILD 27 Farbmischkurven $\overline{b}(\lambda)$, $\overline{g}(\lambda)$, $\overline{r}(\lambda)$, bezogen auf die Primärfarben R, G, B.

im Raum bestimmt dabei die Farbart, die Länge des Vektors ist ein Maß für die Helligkeit. Die grafische Darstellung im dreidimensionalen Koordinatensystem ist jedoch unbequem. Da aber Helligkeit (Leuchtdichte) und Farbart voneinander unabhängig sind, kann man eine Normierung der Farbwerte auf den Leuchtdichteanteil vornehmen. Man erhält:

$$\frac{F}{R+G+B} = \frac{R(R)}{R+G+B} + \frac{G(G)}{R+G+B} + \frac{B(B)}{R+G+B} = 1 \qquad (4)$$

beziehungsweise mit den „reduzierten Farbwerten“

$$r + g + b = 1. \qquad (5)$$

In diesen reduzierten Farbwerten ist die Leuchtdichte nicht mehr enthalten, sondern nur noch die Farbart. Da aber die Summe von r, g und b immer gleich eins

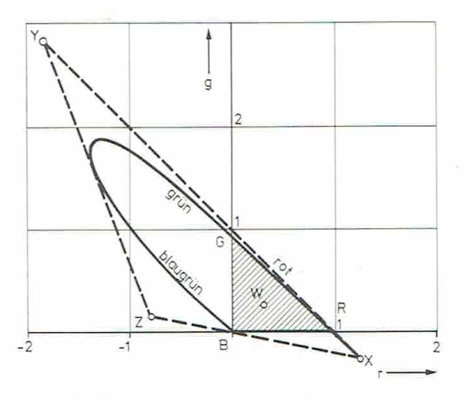


BILD 28 Farbfläche im r-g-Diagramm.

ist, kann man auf eine der drei Größen in der Angabe der Farbart verzichten und kommt so zu einem zweidimensionalen System, der Farbfläche. Trägt man in ein r-g-Diagramm die über die Farbmischkurven ermittelten reduzierten Farbwerte ein, dann erhält man den sogenannten Spektralfarbenzug als geometrischen Ort aller Spektralfarben (BILD 28).

Bedingt durch den negativen Anteil der $\overline{r}(\lambda)$-Farbmischkurve ergeben sich auch hier negative Farbwerte. Durch eine Koordinatentransformation unter Bezugnahme auf neue, fiktive, das heißt physikalisch nicht realisierbare Primärstrahler X, Y und Z erhält man eine Darstellung, in der nur noch positive Farbwerte auftreten [3]. Auch mit den fiktiven Primärstrahlern (Normfarbwerte X, Y, Z) gilt die Beziehung nach Gl. (4); ausgedrückt durch die Normfarbwertanteile x, y, z lautet sie:

$$x + y + z = 1. \qquad (6)$$

Die zweidimensionale Darstellung der Farbart im x-y-Koordinatensystem wird als „Normfarbtafel“ nach IBK (Internationale Beleuchtungskommission) oder kurz als „Farbdreieck“ bezeichnet

(BILD 29). Vom Spektrallinienzug und der Purpurlinie wird die Fläche der durch additive Mischung realisierbaren Farbreize umschlossen. Die Verbindung vom Weißpunkt W (Gleichenergieweiß)

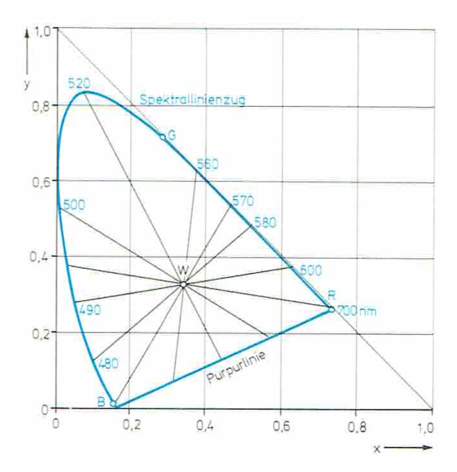


BILD 29 Normfarbtafel, Farbfläche im x-y-Diagramm.

mit x = 0,33 und y = 0,33 mit dem Ort irgendeiner Farbart F ergibt in ihrer Verlängerung durch den Schnittpunkt mit dem Spektrallinienzug die dominierende Wellenlänge, das heißt den Farbton. Das Verhältnis der Strecke vom Farbton F zum Weißpunkt W zu der Strecke vom Spektrallinienzug bis zum Weißpunkt W auf der Verbindungsgeraden über den Farbort gibt die Farbsättigung an. Je näher der Farbort zum Weißpunkt rückt, um so geringer ist die Farbsättigung. Der Farbort einer Mischfarbe liegt auf der Geraden zwischen den Farborten von zwei Ausgangsfarben beziehungsweise bei drei Ausgangsfarben innerhalb des durch die Verbindungslinien eingeschlossenen Dreiecks.

Bei der Bestimmung der Farbwertanteile in einem Farbfernsehsystem muß in erster Linie die Realisierbarkeit der Primärreize auf der Empfängerseite berücksichtigt werden. Die Forderungen an die Empfänger-Primärstrahler sind nun zunächst einmal durch einen möglichst großen Bereich der darstellbaren Mischfarben gegeben, das heißt die Farbkoordinaten der Empfänger-Primärstrahler sollten möglichst auf dem Spektralfarbenzug liegen. Andererseits braucht man Strahler mit möglichst hoher Leuchtdichte, die wirtschaftlich herzustellen sind. Nach neueren Festlegungen der EBU (European Broadcasting Union) bezieht man sich auf die Empfänger-Primärstrahler R_e, G_e und B_e, deren Farborte in BILD 30 angegeben sind.

Bei der Bestimmung der Farbmischkurven als Anteile der Primärreize R, G und B wurde das Gleichenergieweiß W zugrunde gelegt. In der Farbfernsehtechnik wird die „Normlichtart C" als Bezugsweiß verwendet. Dieses Weiß entspricht dem mittleren Tageslicht mit einer Farbtemperatur von etwa 6500 K. Die Normfarbwertanteile sind:

$x_C = 0{,}310, \quad y_C = 0{,}316, \quad z_C = 0{,}374.$

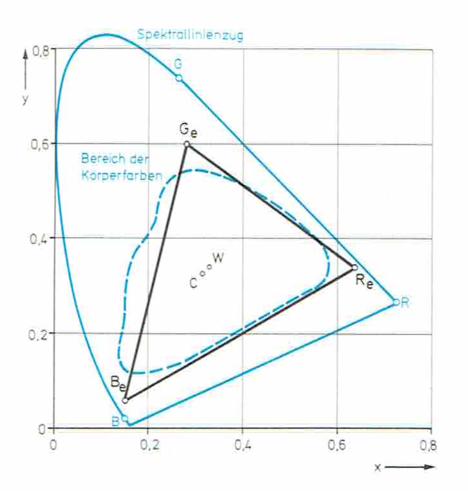


BILD 30 Farborte der Empfänger-Primärstrahler und der damit darstellbare Farbbereich.

Werden nun für alle spektralen Farbreize mit gleicher Strahlungsenergie die Farbwerte zu den Empfänger-Primärstrahlern R_e, G_e und B_e ermittelt und über der Wellenlänge λ als normierte Farbwerte aufgetragen (Maximalwert der Kurve auf 1 bezogen), so erhält man die in der Fernsehtechnik maßgeblichen Farbmischkurven (BILD 31). Es treten auch hier wieder negative Farbwerte

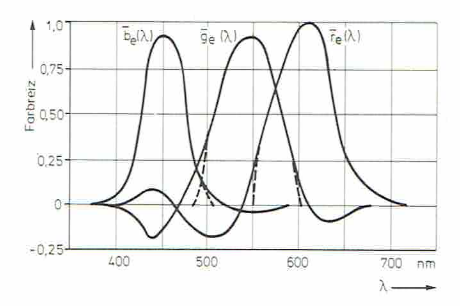


BILD 31 Farbmischkurven $\overline{b}_e(\lambda)$, $\overline{g}_e(\lambda)$, $\overline{r}_e(\lambda)$, bezogen auf die Empfänger-Primärstrahler R_e, G_e, B_e.

auf, bedingt durch die Farbreize außerhalb des durch R_e, G_e und B_e gebildeten Dreiecks. Die Farbmischkurven werden deshalb für den praktischen Betrieb geringfügig geändert (gestrichelt eingezeichnet). Auf diese Farbmischkurven müssen die Signale der Kameraröhren im Rot-, Grün- und Blau-Kanal der Farbkamera über ihre spektrale Empfindlichkeit und durch zusätzliche Farbfilter abgestimmt werden (s. Bild 23). Die Ausgangsspannungen der Farbkamera in den drei Kanälen müssen das gleiche Verhältnis zueinander haben wie die Farbwerte. Bei der Normlichtart C müssen die drei Ausgangsspannungen untereinander gleich sein, auch bei verschiedenen Leuchtdichtewerten.

Wird fortgesetzt. Rudolf Mäusl

LITERATUR

[3] Schönfelder, H.: Fernsehtechnik, Teil I und II. Vorlesungsniederschrift. Justus-von-Liebig-Verlag, Darmstadt, 1972 und 1973.

4.3 Leuchtdichte- und Farbartsignal, Farbdifferenzsignale

Aus Gründen der Kompatibilität muß einem Schwarzweiß-Fernsehempfänger bei einer bunten Bildvorlage von der Farbfernsehkamera das gleiche Signal wie von einer Schwarzweiß-Fernsehkamera zugeführt werden, nämlich das Helligkeits- oder Leuchtdichtesignal. Die spektrale Empfindlichkeit einer Schwarzweiß-Kameraröhre entspricht der Augenempfindlichkeitskurve, damit die Schwarzweiß-Bildröhre die verschiedenen Farbreize als Graustufen mit der Helligkeit wiedergibt, mit der sie auch vom Auge empfunden werden.

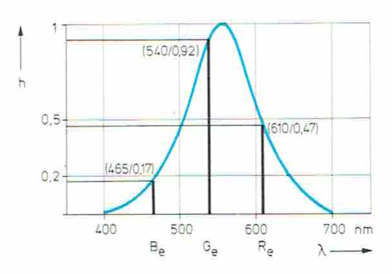


BILD 32 Hellempfinden des menschlichen Auges bei den Empfänger-Primärfarben.

Die Farbfernsehkamera aber liefert drei Signale mit der spektralen Abhängigkeit gemäß dem Verlauf der Farbmischkurven. Um aus den drei Signalen eines zu gewinnen, das in der spektralen Abhängigkeit der Augenempfindlichkeitskurve entspricht, muß man eine entsprechende Codierung vornehmen. Dazu werden die drei Farbwertsignale, dargestellt durch die Funktionen $\bar{r}_e(\lambda)$, $\bar{g}_e(\lambda)$ und $\bar{b}_e(\lambda)$, mit den relativen Helligkeitsbeiwerten h_r, h_g und h_b multipliziert und dann addiert. Das Ergebnis muß, bis auf eine Proportionalitätskonstante k, identisch sein mit der Augenempfindlichkeitsfunktion $h(\lambda)$.

$$h(\lambda) = k\,[h_r \cdot \bar{r}_e(\lambda) + h_g \cdot \bar{g}_e(\lambda) + h_b \cdot \bar{b}_e(\lambda)]. \quad (7)$$

Die relativen Helligkeitsbeiwerte h_r, h_g und h_b werden durch Normierung aus den entsprechenden Werten $h_{(R_e)}$, $h_{(G_e)}$ und $h_{(B_e)}$ der Augenempfindlichkeitskurve ermittelt (BILD 32). Man erhält:

$$h_{(R_e)} = 0{,}47$$
$$h_{(G_e)} = 0{,}92$$
$$h_{(B_e)} = 0{,}17$$
$$\Sigma h = 1{,}56$$

Die relativen Helligkeitsbeiwerte berechnen sich dann zu:

$$h_r = \frac{h_{(R_e)}}{\Sigma h} = \frac{0{,}47}{1{,}56} = 0{,}30$$

$$h_g = \frac{h_{(G_e)}}{\Sigma h} = \frac{0{,}92}{1{,}56} = 0{,}59$$

$$h_b = \frac{h_{(B_e)}}{\Sigma h} = \frac{0{,}17}{1{,}56} = 0{,}11$$

Wegen der Normierung gilt:

$$h_r + h_g + h_b = 1. \quad (8)$$

Damit erhält man für Gl. (7):

$$h(\lambda) = k\,[0{,}30 \cdot \bar{r}_e(\lambda) + 0{,}59 \cdot \bar{g}_e(\lambda) + 0{,}11 \cdot \bar{b}_e(\lambda)] \quad (7')$$

beziehungsweise für das, dem Verlauf der Augenempfindlichkeitskurve entsprechende Helligkeits- oder Leuchtdichtesignal Y in vereinfachter Schreibweise

$$\mathbf{Y = 0{,}30 \cdot R + 0{,}59 \cdot G + 0{,}11 \cdot B.} \quad (9)$$

Diese Gleichung stellt eine der wichtigsten Beziehungen der Farbfernsehtechnik dar.

Technisch wird das Leuchtdichtesignal U_Y über eine Matrixschaltung aus den Farbwertsignalen U_R, U_G und U_B gewonnen (BILD 33). Für eine Bildvorlage mit acht Farbbalken (Normfarbbalkenfolge), bestehend aus den drei Primärfarben und den dazugehörigen Komplementärfarben als Mischfarben sowie aus den Unbuntstufen Weiß und Schwarz, ergeben sich Signale, wie sie in TABELLE 3 zusammengestellt sind.

TABELLE 3

Signale der Normfarbbalkenfolge

Bildvorlage	R	G	B	Y
Weiß	1	1	1	1,00
Gelb (R+G)	1	1	0	0,89
Cyan (G+B)	0	1	1	0,70
Grün	0	1	0	0,59
Purpur (R+B)	1	0	1	0,41
Rot	1	0	0	0,30
Blau	0	0	1	0,11
Schwarz	0	0	0	0

Zur Wiedergabe eines Farbbildes werden die drei Farbwertsignale R, G und B benötigt, aus Kompatibilitätsgründen erfolgt aber die Farbbildübertragung in Form des Leuchtdichtesignals Y und des Farbartsignals F. Das Farbartsignal kann aus den Farbwertsignalen nicht direkt gewonnen werden. Es geschieht dies vielmehr auf dem Umweg über die Farbdifferenzsignale

R – Y, G – Y, B – Y.

Man versteht darunter die um den Leuchtdichteanteil reduzierten Farbwertsignale.

Das Farbartsignal beinhaltet die Information über Farbton und Farbsättigung. Zur Bildung des Farbartsignals genügen deshalb bereits zwei Farbdifferenzsignale. Man wählte die beiden Farbdifferenzsignale R – Y und B – Y [4].

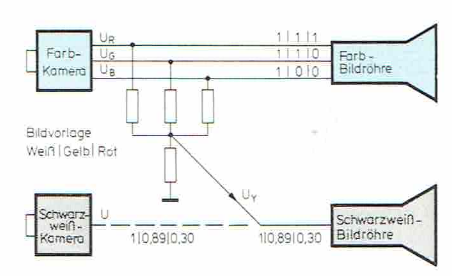


BILD 33 Bildung des Leuchtdichtesignals U_Y aus den Farbwertsignalen U_R, U_G, U_B und Kompatibilitätsbeziehung.

Über die Beziehung

$$U_Y = 0{,}30 \cdot U_R + 0{,}59 \cdot U_G + 0{,}11 \cdot U_B \quad (10)$$

für die Spannung des Leuchtdichtesignals aus dem Coder erhält man die Zusammensetzung der beiden Farbdifferenzsignale zu:

$$U_R - U_Y = 0{,}70 \cdot U_R - 0{,}59 \cdot U_G - 0{,}11 \cdot U_B \quad (11)$$

und

$$U_B - U_Y = -0{,}30 \cdot U_R - 0{,}59 \cdot U_G + 0{,}89 \cdot U_B. \quad (12)$$

Die Farbdifferenzsignale enthalten nur eine Information über die Farbart. Bei unbunten Bildvorlagen ($U_R = U_G = U_B$) werden sie zu Null.

Die Amplitude der Farbdifferenzsignale gibt die Abweichung der Farbart von

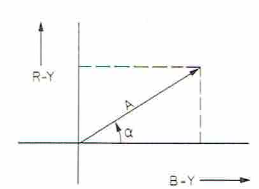


BILD 34 Darstellung der Farbart über die Farbdifferenzsignale.

Unbunt an und ist damit ein Maß für die Farbsättigung. Der Farbton wird durch das Verhältnis der Amplituden und durch das Vorzeichen der Farbdifferenzsignale bestimmt. Durch Transformation von einem rechtwinkligen (B – Y)-(R – Y)-Koordinatensystem in Polarkoordinaten (BILD 34) erhält man die Farbsättigung aus der Zeigerlänge A zu:

$$A = \sqrt{(B-Y)^2 + (R-Y)^2} \quad (13)$$

und den Farbton aus dem Winkel α zu:

$$\alpha = \arc\tan \frac{(R-Y)}{(B-Y)}\,. \quad (14)$$

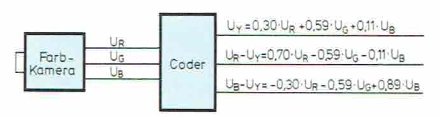


BILD 35 Bildung des Leuchtdichtesignals U_Y sowie der Farbdifferenzsignale $U_R - U_Y$ und $U_B - U_Y$.

Untersuchungen haben ergeben, daß das menschliche Auge für farbige Bilddetails ein geringeres Auflösungsvermögen hat als für Helligkeitsänderungen. Es genügt daher, nur das Leuchtdichtesignal mit der vollen Bandbreite von 5 MHz zu übertragen. Das Farbartsignal kann auf etwa 1,5 MHz bandbegrenzt werden. Man erreicht dies, indem man die beiden Farbdifferenzsignale über Tiefpässe führt.

Die von der Farbkamera erzeugten Signale U_R, U_G und U_B werden im Coder in das Leuchdichtesignal U_Y und die Farbdifferenzsignale $U_R - U_Y$ und $U_B - U_Y$ umgewandelt (BILD 35) und in dieser Form dem Wiedergabesystem zugeführt. Zur Hellsteuerung des Rot-, Grün- und Blaustrahls aber werden die Farbwertsignale benötigt. Zwei Verfahren der Rückgewinnung der Farbwertsignale sind üblich:

1. RGB-Ansteuerung der Farbbildröhre (BILD 36)

Über Matrixschaltungen werden aus dem Leuchtdichtesignal U_Y und den beiden Farbdifferenzsignalen $U_R - U_Y$ und $U_B - U_Y$ die Farbwertsignale U_R, U_G und U_B gebildet und direkt den entsprechenden Steuergittern der Farbbildröhre zugeführt. Die Kathoden liegen auf festem Potential.

2. Farbdifferenzsignal-Ansteuerung der Farbbildröhre (BILD 37)

Aus den beiden Farbdifferenzsignalen $U_R - U_Y$ und $U_B - U_Y$ wird in einer Matrixschaltung das dritte Farbdifferenzsignal $U_G - U_Y$ gewonnen. Zugrunde gelegt wird der Ansatz:

$$U_Y = 0{,}30 \cdot U_R + 0{,}59 \cdot U_G + 0{,}11 \cdot U_B$$
$$U_Y = 0{,}30 \cdot U_Y + 0{,}59 \cdot U_Y + 0{,}11 \cdot U_Y$$

$$U_Y - U_Y = 0{,}30 \cdot (U_R - U_Y) + 0{,}59 \cdot (U_G - U_Y) + 0{,}11 \cdot (U_B - U_Y) = 0 \quad (15)$$

beziehungsweise nach Umformung

$$U_G - U_Y = -0{,}51 \cdot (U_R - U_Y) - 0{,}19 \cdot (U_B - U_Y). \quad (16)$$

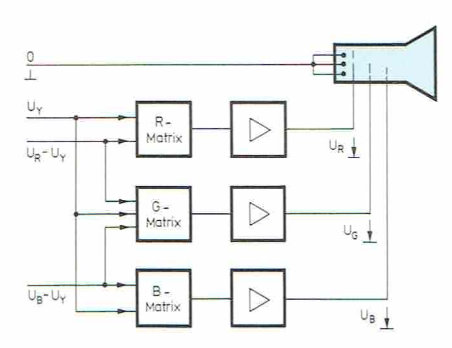


BILD 36 Rückgewinnung der Farbwertsignale bei RGB-Ansteuerung der Farbbildröhre.

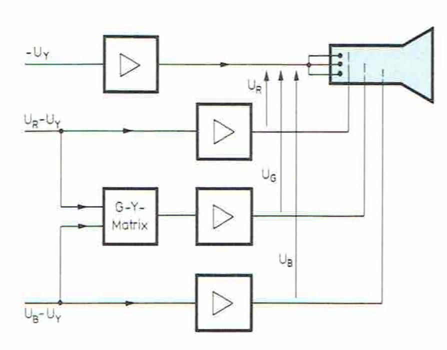


BILD 37 Rückgewinnung der Farbwertsignale bei Farbdifferenzsignal-Ansteuerung der Farbbildröhre.

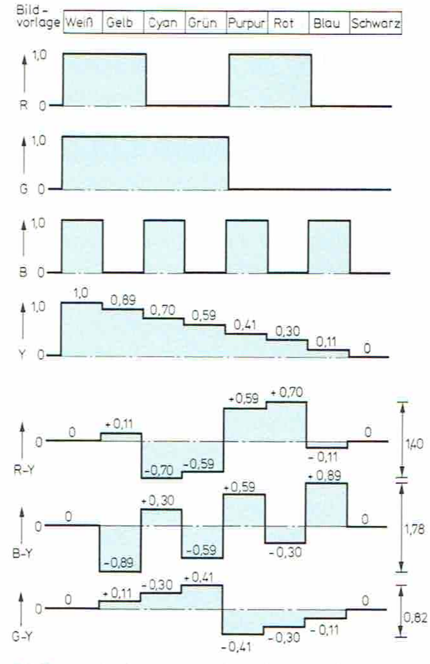


BILD 38 Farbwertsignale, Leuchtdichtesignal und Farbdifferenzsignale bei der Normfarbbalken-Bildvorlage.

Die Farbdifferenzsignale werden an die Steuergitter der Strahlsysteme, das negative Leuchtdichtesignal an die Kathoden angelegt, so daß sich als Steuerspannungen an den drei Systemen die Farbwertsignale bilden, wie beispielsweise

$$U_{StR} = (U_R - U_Y) - (-U_Y) = U_R. \quad (17)$$

Der Vorzug dieses Verfahrens liegt in der geringeren Bandbreite der Endverstärkerstufen für die Farbdifferenzsignale gegenüber denen für die Farbwertsignale und weiterhin darin, daß bei Ausfall der Farbdifferenzsignale ein Schwarzweiß-Bild erscheint. Als Nachteil zeigt sich jedoch, daß in den Farbdifferenzsignal-Endstufen höhere Signalspannungen zu erzeugen sind. In BILD 38 sind als Beispiel die Signale für den Normfarbbalken dargestellt.

Wird fortgesetzt. Rudolf Mäusl

[4] Mayer, N.: Technik des Farbfernsehens in Theorie und Praxis. Verlag für Radio-, Foto-, Kinotechnik, 1967.

5. Übertragung des Farbartsignals mit Farbträger

Wie im vorangegangenen Kapitel erläutert, geschieht die Aufbereitung des Farbfernsehsignals aus Gründen der Kompatibilität in das Leuchtdichtesignal Y und in die beiden Farbdifferenzsignale R – Y und B – Y. Zur Übertragung der gesamten Bildinformation – Leuchtdichte und Farbart – ist ein dreifach belegbarer Übertragungskanal notwendig. Zu denken wäre dabei an eine Mehrfachausnutzung des Fernsehübertragungskanals nach dem Frequenz- oder Zeitmultiplexverfahren. Beide Verfahren erweisen sich aber als nicht kompatibel mit dem bereits eingeführten Schwarzweiß-Übertragungsverfahren.

Ein für das tatsächlich gewählte Farbübertragungsverfahren entscheidender Gedanke leitet sich von der spektralen Analyse des Leuchtdichte- beziehungsweise BAS-Signals ab. Es zeigt sich nämlich, daß im Spektrum des BAS-signals nur bestimmte Frequenzkomponenten auftreten, die im wesentlichen,

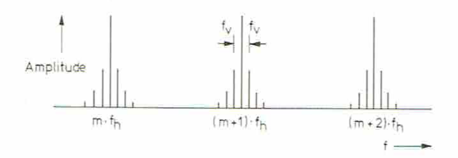


BILD 39 Spektrum des BAS-Signals, ausschnittsweise dargestellt.

wegen des periodischen Abtastvorgangs, durch Vielfache der Zeilenfrequenz gebildet werden. Durch den schwankenden Bildinhalt ergibt sich eine Amplitudenmodulation der zeilenfrequenten Impulsfolge, was wiederum zu Seitenschwingungen im Abstand von Vielfachen der Vertikalfrequenz zu den Spektralkomponenten des Zeilenimpulses führt. BILD 39 zeigt ausschnittsweise das Spektrum des BAS-Signals. Dieses ist im wesentlichen nur bei Vielfachen der Horizontalfrequenz und in deren Umgebung besetzt. Zwischen diesen Frequenzgruppen weist das Spektrum bedeutende Energielücken auf.

Da auch die Farbinformation zeilenperiodisch auftritt, setzt sich das Spektrum des Farbartsignals ebenfalls nur aus Vielfachen der Horizontalfrequenz und deren Seitenbändern zusammen. Es liegt deshalb nahe, die zusätzliche Farbinformation in die Lücken des Frequenzspektrums des BAS-Signals einzufügen. Dies geschieht, indem das Farbartsignal einem Farbträger aufmoduliert wird, dessen Frequenz f_F, und damit auch das Spektrum der zeilenfrequenten Modulationsprodukte, zwischen den Frequenzkomponenten des BAS-Signals liegt (BILD 40).

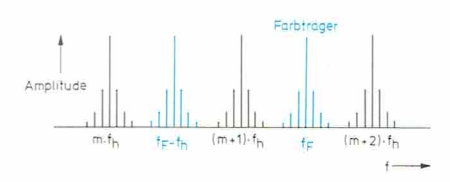


BILD 40 Spektrum das BAS-Signals und des modulierten Farbträgers.

5.1 Festlegung der Farbträgerfrequenz

Eine Bedingung für die Frequenz des Farbträgers ergibt sich aus der symmetrischen Verschachtelung von BAS- und Farbartsignalspektrum: Die Frequenz f_F soll ein ungeradzahliges Vielfaches der halben Zeilenfrequenz f_h sein.

$$f_F = (2n+1) \cdot \frac{f_h}{2} \tag{18}$$

Man erhält so den sogenannten Halbzeilen-Offset.

Der Störeinfluß eines Farbträgers auf das Schwarzweißbild läßt sich allgemein folgendermaßen erläutern, wenn davon ausgegangen wird, daß eine sinusförmige Schwingung im Frequenzbereich des BAS-Signals zu einem Hell-Dunkel-Störmuster am Bildschirm führt:

Bei einer ganzzahligen Beziehung zwischen Farbträgerfrequenz und Horizontalfrequenz, das heißt bei Nicht-Offset-Lage zur Horizontalfrequenz, tritt ein Störmuster aus hellen und dunklen vertikalen Streifen auf, deren Anzahl entsprechend dem Faktor n ist (BILD 41). Durch den Halbzeilen-Offset ergibt sich ein Wechsel der Phasenlage der Farbträgerschwingung um 180° von Zeile zu Zeile eines Halbbildes. Nach jeweils zwei Halbbildern aber fallen, wegen der ungeradzahligen Anzahl von Zeilen, helle und dunkle Bildpunkte aufeinander. Das im Takt von $f_v/4 = 12{,}5$ Hz auftretende Störmuster würde sich so über vier Halbbilder hinweg kompensieren (BILD 42). Die Kompensation des Störmusters auf dem Bildschirm ist jedoch wegen der Nichtlinearität der Bildröhrenkennlinie und des nicht ausreichenden Integrationsvermögens des Auges unvollkommen.

Geht man vom Halbzeilen-Offset der Farbträgerfrequenz zur Horizontalfrequenz aus, so läßt sich der subjektive Störeindruck noch dadurch reduzieren, daß die Frequenz des Farbträgers möglichst hoch gewählt wird. Das Störmuster erhält damit eine sehr feine Struktur. Dagegen muß aber berücksichtigt werden, daß der Farbträger durch die Farbdifferenzsignale moduliert wird, so daß zur Übertragung des oberen Seitenbandes ein gewisser Mindestabstand der

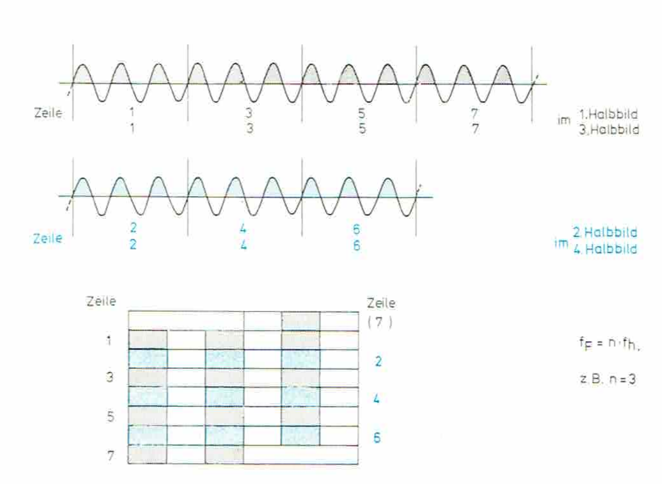
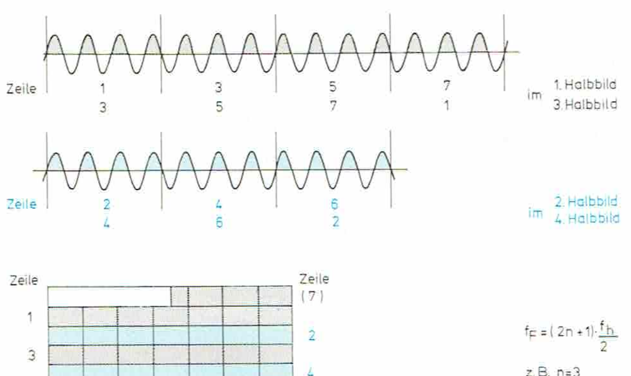


BILD 41
Störmuster durch den Farbträger bei ganzzahliger Beziehung zwischen Farbträgerfrequenz und Horizontalfrequenz.



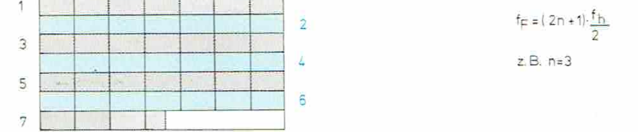


BILD 42
Kompensation des Störmusters bei Halbzeilen-Offset der Farbträgerfrequenz.

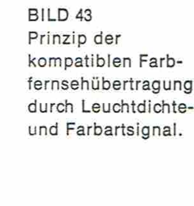


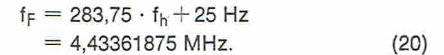
BILD 43
Prinzip der kompatiblen Farbfernsehübertragung durch Leuchtdichte- und Farbartsignal.

Farbträgerfrequenz zur oberen Frequenzbandgrenze des BAS-Signals eingehalten werden muß.

Als günstigster Kompromiß erwies sich ein Wert von etwa 4,4 MHz für die Farbträgerfrequenz. Man kommt so zu dem Schema der kompatiblen Farbfernsehübertragung durch das Leuchtdichtesignal und dem einem Farbträger aufmodulierten Farbartsignal, wie es dem NTSC-System und seinen Varianten zugrunde liegt (BILD 43). Für ein auf die CCIR-Norm modifiziertes NTSC-Verfahren, das später noch ausführlich beschrieben wird, wurde eine Farbträgerfrequenz festgelegt von

$$f_F = 567 \cdot \frac{f_h}{2} = 283{,}5 \cdot f_h = 4{,}4296875\ \text{MHz}. \quad (19)$$

Eine weitere Entwicklung des NTSC-Verfahrens führte zu dem heute weit verbreiteten PAL-Verfahren. Bei diesem wird eine Komponente der Farbträgerschwingung zeilenweise um 180° umgeschaltet. Damit wird aber die Offset-Bedingung für diese Komponente des Farbträgers wieder aufgehoben, und es entstünde im kompatiblen Schwarzweißbild ein starkes Störmuster. Man vermeidet dies nun durch einen Viertelzeilen-Offset des Farbträgers und durch einen zusätzlichen Versatz um $f_v/2 = 25$ Hz. Die Farbträgerfrequenz beim PAL-Verfahren nach der CCIR-Norm ergibt sich somit zu



$$f_F = 283{,}75 \cdot f_h + 25\ \text{Hz} = 4{,}43361875\ \text{MHz}. \quad (20)$$

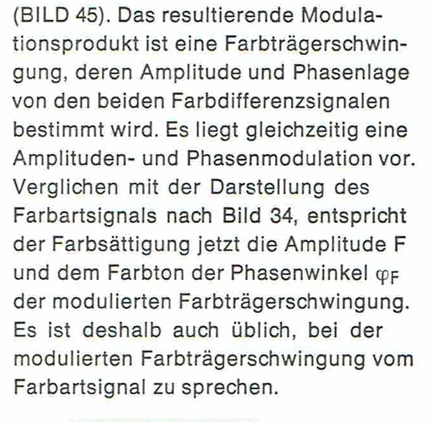
Die starre Verkopplung der Farbträgerfrequenz mit der Horizontalfrequenz erreicht man durch Ableitung der Zeilenfrequenz f_h beziehungsweise der doppelten Zeilenfrequenz $2 \cdot f_h$ aus der Frequenz f_F des Farbträgers (BILD 44).

BILD 44 Verkopplung der Farbträgerfrequenz mit der Horizontalfrequenz.

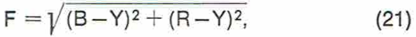
5.2 Modulation des Farbträgers

Das Farbartsignal wird durch Modulation des Farbträgers von den beiden Farbdifferenzsignalen übertragen. Das Modulationsverfahren muß es erlauben, auf der Empfangsseite die Farbdifferenzsignale wieder getrennt zu gewinnen.

Beim NTSC- und auch beim PAL-Verfahren wird eine Doppel-Amplitudenmodulation angewendet. Vom Farbträger wird eine 0°-Komponente durch das (B – Y)-Signal und eine 90°-Komponente durch das (R – Y)-Signal amplitudenmoduliert bei gleichzeitiger Trägerunterdrückung. Man erhält so die Quadraturmodulation



(BILD 45). Das resultierende Modulationsprodukt ist eine Farbträgerschwingung, deren Amplitude und Phasenlage von den beiden Farbdifferenzsignalen bestimmt wird. Es liegt gleichzeitig eine Amplituden- und Phasenmodulation vor. Verglichen mit der Darstellung des Farbartsignals nach Bild 34, entspricht der Farbsättigung jetzt die Amplitude F und dem Farbton der Phasenwinkel φ_F der modulierten Farbträgerschwingung. Es ist deshalb auch üblich, bei der modulierten Farbträgerschwingung vom Farbartsignal zu sprechen.



$$F = \sqrt{(B-Y)^2 + (R-Y)^2}, \quad (21)$$

$$\varphi_F = \arctan \frac{R-Y}{B-Y}. \quad (22)$$

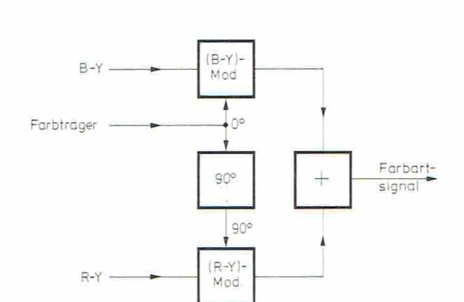


BILD 45 Erzeugung des Farbartsignals durch Quadraturmodulation des Farbträgers von den beiden Farbdifferenzsignalen.

Ein Zeigerdiagramm des Farbartsignals veranschaulicht die Lage der Farborte im Farbkreis (BILD 46). Ähnlich wie beim Farbdreieck in Bild 29 erkennt man die sich über den Koordinaten-Nullpunkt (Unbunt) gegenüberliegenden Komplementärfarben. Bei der Übertragung einer unbunten Bildstelle werden die Farbdifferenzsignale und damit auch die Amplitude der Farbträgerschwingung zu Null. Im Schwarzweißbild treten in diesem Fall auch keine Störungen durch den Farbträger auf.

Zur Demodulation des Farbartsignals wird die phasenrichtige unmodulierte Trägerschwingung benötigt. Es findet eine Synchrondemodulation statt, bei der nur die in Phase zur Referenzträgerschwingung liegende Komponente

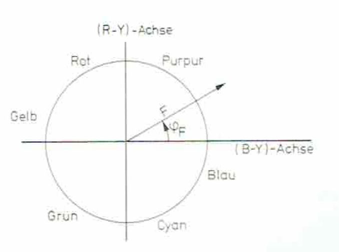


BILD 46 Vektordarstellung des Farbartsignals, Farbkreis.

des Farbartsignals bewertet wird. Da die eigentliche Trägerschwingung nicht übertragen wird, muß sie am Empfangsort als Referenzträger erzeugt werden. Zur Synchronisierung mit dem sendeseitigen Farbträger wird während jeder Zeile innerhalb der H-Austastlücke ein Bezugssignal gesendet, das Farbsynchronsignal, das nach dem englischen Sprachgebrauch auch als Burst bezeichnet wird. Dieses Signal besteht aus etwa zehn Schwingungszügen des sendeseitigen Farbträgers, die innerhalb des Zeitabschnitts der hinteren Schwarzschulter übertragen werden (BILD 47).

Die Phase des Farbsynchronsignals liegt beim NTSC-Verfahren bei 180° gegenüber der 0°-Bezugsphase des Farbträgers.

Im Empfänger wird das Farbsynchronsignal durch Austasten vom Farbartsignal getrennt. In einer Phasenvergleichsschaltung wird aus der Abweichung der Referenzträgerphase von der Phase des Farbsynchronsignals eine Regelspannung gewonnen, die über ein Integrationsglied den Referenzträgeroszillator in Frequenz und Phase nachsteuert. Die Regelspannung wird zu Null, wenn die Phasendifferenz 90° beträgt. Vom Referenzträgeroszillator wird die 90°-Komponente direkt dem (R−Y)-Synchrondemodulator und über eine 90°-Phasenrückdrehung als 0°-Komponente dem (B−Y)-Synchrondemodulator zugeführt (BILD 48).

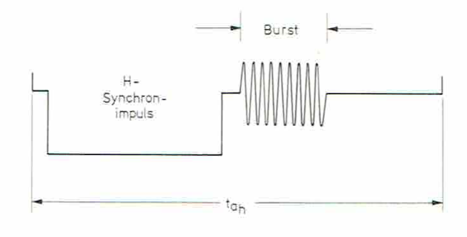


BILD 47 Farbsynchronsignal (Burst).

5.3 FBAS-Signal

Das Farbartsignal F wird mit dem BAS-signal zum FBAS-Signal zusammengefaßt. Dem hochfrequenten Bildträger wird durch Amplitudenmodulation das FBAS-Signal aufgeprägt. Bei Berücksichtigung der vollen Farbdifferenzsignalpegel würde eine Übermodulation des hochfrequenten Bildträgers durch das Farbartsignal bei verschiedenen bunten Bildvorlagen auftreten. Am Beispiel der Normfarbbalkenfolge sei dies gezeigt (TABELLE 4).

Die Übermodulation tritt in beiden Richtungen auf (BILD 49). Insbesondere

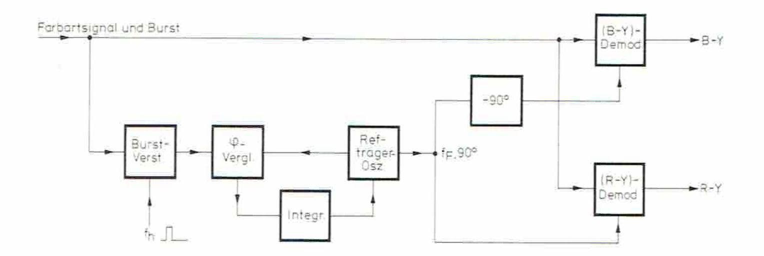


BILD 48 Synchronisation des Referenzträgeroszillators auf der Empfangsseite und Synchrondemodulatoren für die beiden Farbdifferenzsignale.

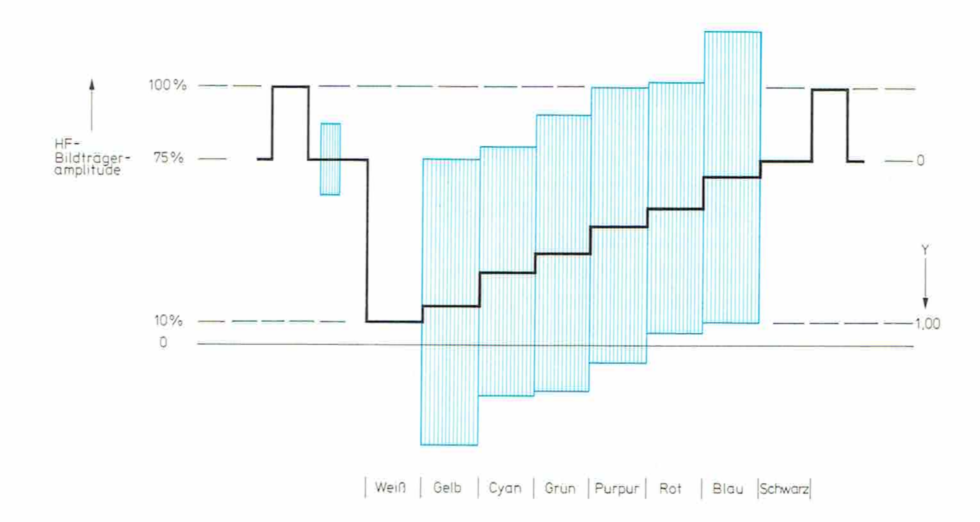


BILD 49 Amplitudenmodulation des hochfrequenten Bildträgers durch das FBAS-Signal ohne Reduzierung der Farbdifferenzsignale.

TABELLE 4 **Übermodulation des HF-Bildträgers durch Normfarbbalken**

Farbbalken	Y	B−Y	R−Y	F	Y+F	Y−F
Weiß	1	0	0	0	1	1
Gelb	0,89	−0,89	+0,11	0,89	1,78	0
Cyan	0,70	+0,30	−0,70	0,76	1,46	−0,06
Grün	0,59	−0,59	−0,59	0,83	1,42	−0,24
Purpur	0,41	+0,59	+0,59	0,83	1,24	−0,42
Rot	0,30	−0,30	+0,70	0,76	1,06	−0,46
Blau	0,11	+0,89	−0,11	0,89	1,00	−0,78
Schwarz	0	0	0	0	0	0

TABELLE 5 **Modulation des HF-Bildträgers durch Normfarbbalken mit reduzierten Farbdifferenzsignalen**

Farbbalken	Y	U	V	F_{red}	$Y+F_{red}$	$Y-F_{red}$
Weiß	1	0	0	0	1	+1
Gelb	0,89	−0,44	+0,10	0,44	1,33	+0,45
Cyan	0,70	+0,15	−0,62	0,63	1,33	+0,07
Grün	0,59	−0,29	−0,52	0,59	1,18	0
Purpur	0,41	+0,29	+0,52	0,59	1,00	−0,18
Rot	0,30	−0,15	+0,62	0,63	0,93	−0,33
Blau	0,11	+0,44	−0,10	0,44	0,55	−0,33
Schwarz	0	0	0	0	0	0

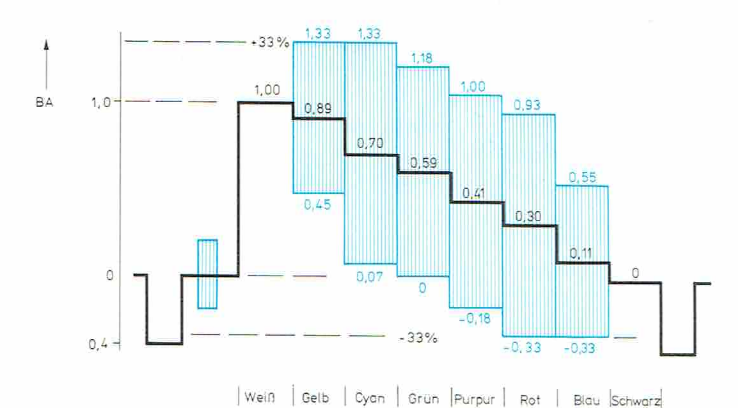


BILD 50 Zeilenoszillogramm des FBAS-Signals für die Normfarbbalkenfolge, Farbsättigung 100 %, mit reduzierten Farbdifferenzsignalen.

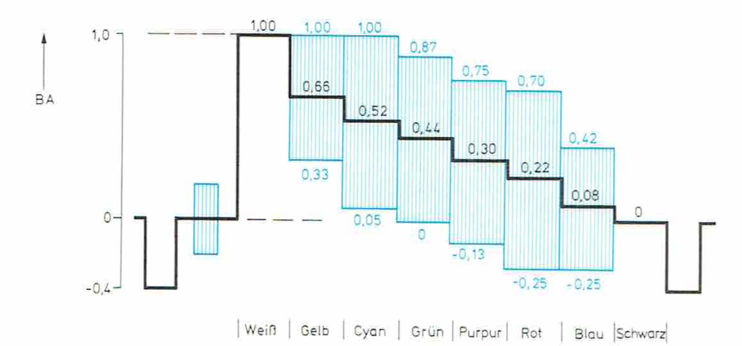


BILD 51 Zeilenoszillogramm des FBAS-Signals für die Normfarbbalkenfolge, Farbsättigung 75 % (EBU-Testsignal).

durch das periodische Aussetzen der hochfrequenten Trägerschwingung und das Unterschreiten des 10 %-Weißpegels würden starke Störungen auftreten. Es muß deshalb die Farbartsignalamplitude reduziert werden. Man hat sich entschieden, als Kompromiß zwischen Übermodulation einerseits und Verringerung des Signal/Rausch-Abstandes andererseits eine Übermodulation von 33 % in beiden Richtungen bei voll gesättigten Farben zuzulassen. In der Praxis treten voll gesättigte Farben nämlich kaum auf. Man erreicht dies durch unterschiedliche Reduktionsfaktoren für die beiden Farbdifferenzsignale, und zwar durch Multiplikation mit dem Faktor

0,49 beim (B – Y)-Signal
und 0,88 beim (R – Y)-Signal.

Es ergeben sich daraus die „reduzierten Farbdifferenzsignale", denen man die Bezeichnungen U und V gegeben hat.

$$U = (B-Y)_{red} = 0{,}49 \cdot (B-Y) = -0{,}15 \cdot R - 0{,}29 \cdot G + 0{,}44 \cdot B, \quad (23)$$

$$V = (R-Y)_{red} = 0{,}88 \cdot (R-Y) = 0{,}61 \cdot R - 0{,}52 \cdot G - 0{,}10 \cdot B. \quad (24)$$

(Die Zahlenwerte sind auf- beziehungsweise abgerundet.)

Für das Farbbalken-Testbild mit 100 % gesättigten Farben ergibt dies die in TABELLE 5 zusammengefaßten Signalwerte. Das Zeilenoszillogramm des FBAS-Signals für die Farbbalkenfolge mit 100 % gesättigten Farben zeigt BILD 50.

Für meßtechnische Untersuchungen und Einstellungen an Farbfernseh-Übertragungssystemen dient als Testsignal die Normfarbbalkenfolge, bei der nach EBU-Norm (European Broadcasting Union) alle Farbwertsignale, außer im Weiß-Balken, auf 75 % reduziert werden. Damit wird die 33 %ige Übermodulation durch den Farbträger vermieden (BILD 51).

Zur Bestimmung der Farbträger-Phasenlage beziehungsweise der Farborte in der (B – Y)-(R – Y)-Ebene verwendet man das Vektorskop. Es handelt sich dabei um ein in Polarkoordinaten geeichtes Oszilloskop mit zwei Synchrondemodulatoren für die F_U- und F_V-Komponente des Farbartsignals. Die demodulierten Farbdifferenzsignale werden dem X- und Y-Eingang des Oszilloskops zugeführt. Das Vektoroszillogramm der Normfarbbalkenfolge zeigt BILD 52.

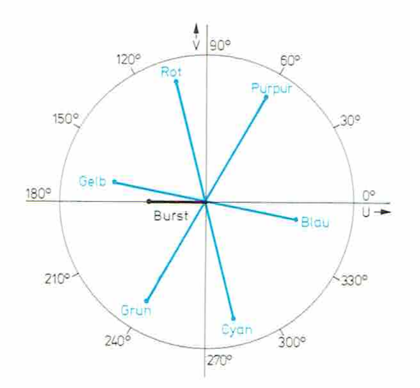


BILD 52 Vektoroszillogramm der Normfarbbalkenfolge.

Wird fortgesetzt. Rudolf Mäusl



5.4 NTSC-Verfahren

Die bei der Farbfernsehübertragung im wesentlichen verwendeten Verfahren NTSC, PAL und SECAM unterscheiden sich nur hinsichtlich der Modulation des Farbträgers. Das nach dem „National Television System Committee" benannte NTSC-Verfahren bildet die Grundlage für die verbesserten Varianten PAL und SECAM.

Das NTSC-Verfahren ist durch die bisherigen Ausführungen über die Modulation des Farbträgers und das FBAS-Signal im Prinzip bereits beschrieben worden. Abweichend von dem bisher Gesagten werden aber beim Original-NTSC-System (US-Norm) nicht die reduzierten Farbdifferenzsignale U und V übertragen, sondern die auf ein um 33° gedrehtes Koordinatensystem bezogenen Komponenten, die „I-Komponente" und die „Q-Komponente" (BILD 53).

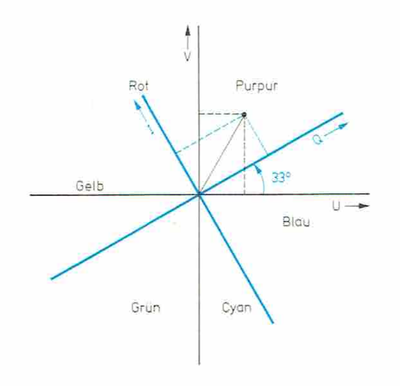


BILD 53 I- und Q-Komponente der reduzierten Farbdifferenzsignale beim Original-NTSC-System.

Die I-Achse entspricht im Farbdreieck der Achse maximaler und die Q-Achse der Achse minimaler Farbauflösung des menschlichen Auges (BILD 54). Man erreicht dadurch eine günstigere Übertragung von Farbübergängen.

Die Modulationssignale sind jetzt

$$I = V \cdot \cos 33^\circ - U \cdot \sin 33^\circ, \quad (25)$$

$$Q = V \cdot \sin 33^\circ + U \cdot \cos 33^\circ \quad (26)$$

oder mit den Matrixgleichungen aus den Farbwertsignalen

$$I = 0{,}60 \cdot R - 0{,}28 \cdot G - 0{,}32 \cdot B, \quad (27)$$

$$Q = 0{,}21 \cdot R - 0{,}52 \cdot G + 0{,}31 \cdot B. \quad (28)$$

Die beiden Signale I und Q werden mit unterschiedlicher Bandbreite übertragen, nämlich das

I-Signal mit 1,3 MHz
und das Q-Signal mit 0,5 MHz.

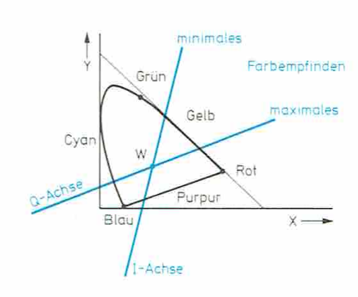


BILD 54 I-Q-Achsensystem im Farbdreieck.

BILD 55 zeigt das vollständige Blockschaltbild eines NTSC-Coders. Die Funktion eines entsprechenden Decoders ist, abgesehen von der 33°-Phasendrehung, im wesentlichen durch Bild 48 erläutert.

Das menschliche Auge reagiert sehr stark auf Farbtonverfälschungen. Der Farbton des von der Bildröhre wiedergegebenen Farbbildes wird bestimmt durch den Phasenwinkel des Farbartsignals, bezogen auf die Phase des Farbsynchronsignals. Bei der Bildung des FBAS-Signals im Studio kann es vorkommen, daß das Farbartsignal von verschiedenen Quellen her unterschiedliche Signalaufzeiten und damit verschiedene Phasendrehungen gegenüber dem Burst aufweist. Beim NTSC-Farbfernsehempfänger ist zur Korrektur von Farbtonfehlern, die sich auf Grund statischer Phasenfehler im Übertragungsweg ergeben, eine Einstellvorrichtung vorhanden, mit dem die Phasenlage des Referenzträgers nachgestellt werden kann. Dies geschieht meist unter Bezugnahme auf den Farbton eines bekannten Bildteiles, beispielsweise der Hautfarbe.

Nicht korrigieren lassen sich mit diesem Farbtonregler allerdings die sogenannten differentiellen Phasenfehler. Unter dem Begriff der „differentiellen Phase" versteht man nach DIN 45 061 „die Differenz der Phasendrehungen in einem Vierpol an zwei verschiedenen Stellen der Aussteuerungskennlinie bei der Farbträgerfrequenz". Ähnlich ist auch der Begriff „differentielle Verstärkung" definiert.

Das Farbartsignal erleidet zum Beispiel beim Durchlaufen einer Verstärkerstufe mit vorgeschaltetem Schwingkreis auf Grund des über den Y-Anteil des FBAS-Signals unterschiedlichen Arbeitspunktes auf der Übertragungskennlinie eine differentielle Amplitudenänderung (wegen der unterschiedlichen Steilheit entlang der Kennlinie) und eine differentielle Phasenänderung (wegen der vom Emitterstrom und damit vom Arbeitspunkt abhängigen Eingangs-

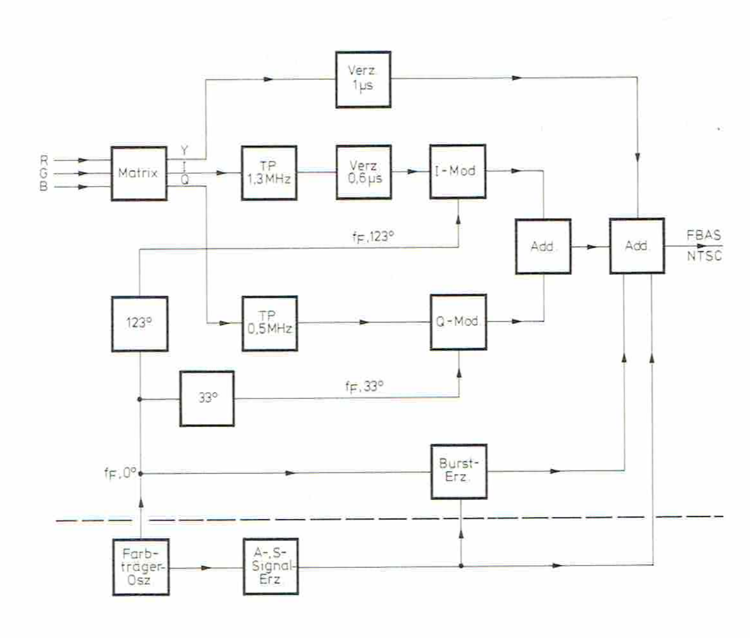


BILD 55 Blockschaltung eines NTSC-Coders.

kapazität des Transistors). Während die Amplitudenänderung durch eine Gegenkopplung weitgehend eliminiert werden kann, ist die Phasenänderung nur durch Einengung des Aussteuerbereichs zu reduzieren. BILD 56 zeigt diesen Einfluß auf das FBAS-Signal und die Auswirkung in der Vektorskop-Darstellung.

5.5 PAL-Verfahren

Eine wesentlich geringere Störanfälligkeit gegenüber statischen und differentiellen Phasenfehlern weist das PAL-Verfahren auf. Es findet dabei eine Kompensation der auftretenden Phasenfehler mit relativ geringem Aufwand statt. Der Grundgedanke des PAL-Verfahrens ist folgender: Ein vorhandener Phasenfehler kann durch einen entgegengesetzt gerichteten Phasenfehler kompensiert werden. Technisch erreicht man dies durch eine zeilenweise Umschaltung der Phasenlage einer der beiden Komponenten des Farbartsignals um 180°, beispielsweise der F_V-Komponente. Von dem zeilenweisen Phasenwechsel, „phase alternation line", leitet sich auch die Bezeichnung PAL ab.

Bei Vorliegen eines Phasenfehlers im Übertragungsweg ergeben sich im Empfänger nach Aufhebung der senderseitigen Umpolung der F_V-Komponente von Zeile zu Zeile abwechselnd positive und negative Abweichungen der Phasenlage des Farbartsignals vom Sollwert. Durch eine Verzögerung des Farbartsignals um die Dauer einer Zeile (64 µs) und anschließende Addition des verzögerten und unverzögerten Signals fallen jeweils zwei entgegengesetzt gerichtete Phasenfehler zeitlich zusammen und heben sich so auf. Man geht bei diesem Verfahren allerdings von der Annahme aus, daß sich die Farbart in zwei aufeinanderfolgend übertragenen Zeilen nicht ändert. Sind horizontal verlaufende Farbkanten vorhanden, so empfindet das Auge jedoch auch dann kaum eine Verfälschung des Farbübergangs.

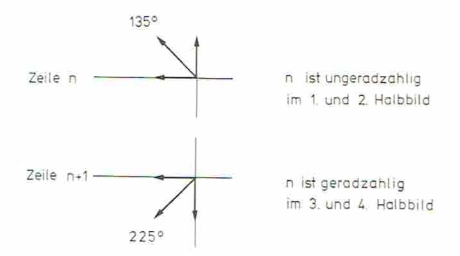


BILD 58 Alternierender Burst beim PAL-Verfahren.

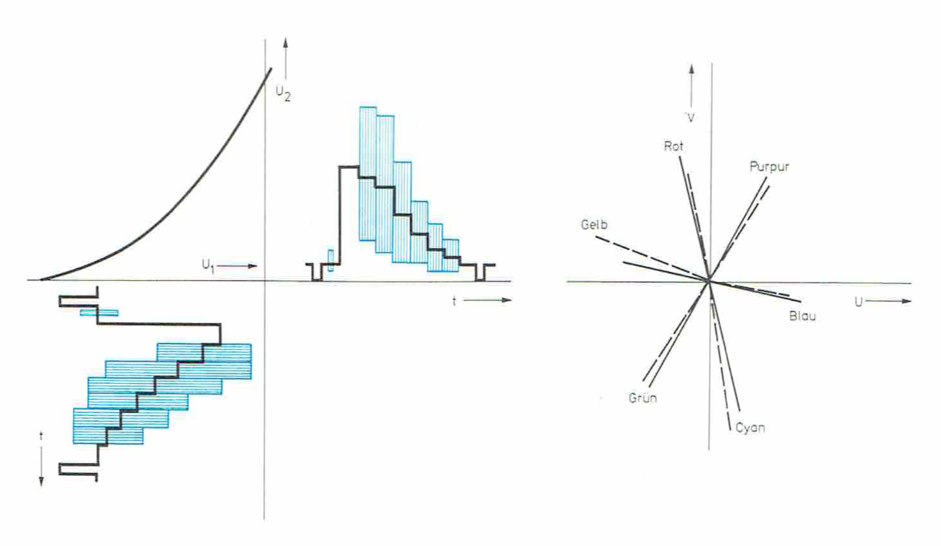


BILD 56 Entstehung von differentiellen Amplituden- und Phasenfehlern.

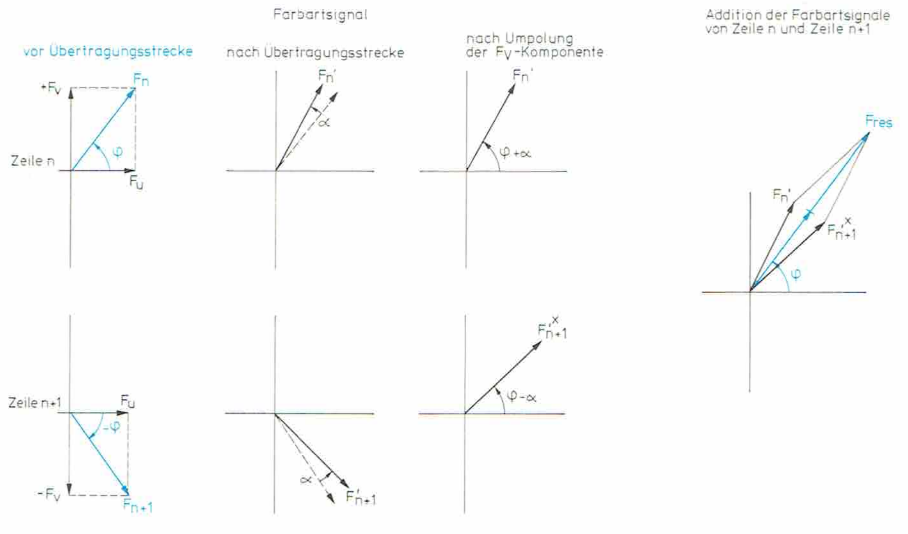


BILD 57 Kompensation eines Phasenfehlers beim PAL-Verfahren.

Die Kompensation eines Phasenfehlers beim PAL-Verfahren zeigt BILD 57. Es wird dabei ein Phasenfehler α angenommen, der das Farbartsignal gegenüber dem Burst auf der Übertragungsstrecke beeinflußt. Nach Aufhebung der F_V-Umpolung (PAL-Umschaltung) und Addition der Farbartsignale zweier aufeinander folgender Zeilen ergibt sich ein resultierendes Signal F_{res}, dessen Phasenwinkel identisch ist mit dem des gesendeten Farbartsignals, womit auch der ursprüngliche Farbton erhalten bleibt. Das resultierende Signal weist, nach Reduzierung auf den halben Amplitudenwert, lediglich eine geringe Entsättigung auf.

Zur phasenrichtigen Umpolung der F_V-Komponente im Empfänger beziehungsweise des Referenzträgers für den (R−Y)-Synchrondemodulator wird mit dem Farbsynchronsignal eine zusätzliche Kennung übertragen. Das Farbsynchronsignal wird dazu in zwei Komponenten aufgespalten, von denen eine in der 180°-Phasenlage und die andere zeilenweise abwechselnd phasenrichtig mit der F_V-Umpolung mit ±90°-Phasenlage gesendet wird. Dadurch ergibt sich der sogenannte „alternierende Burst" mit 180° ± 45° (BILD 58). Die eigentliche Bezugsphase des Burst erhält man durch Mittelwertbildung zu 180°.

Der Referenzträgeroszillator im Empfänger stellt sich über die Phasenregelung auf 90° gegenüber dem Mittelwert der Burst-Phase ein. Das Kennsignal für die Synchronisierung des PAL-Umschalters wird dem Burst-Phasendiskriminator entnommen (siehe Bild 62). Beim PAL-Verfahren werden die reduzierten Farbdifferenzsignale U und V direkt übertragen, ihre Bandbreite beträgt 1,3 MHz. Eine Begrenzung der Seitenbänder des modulierten Farbträgers auf unterschiedliche Breite wirkt sich infolge der Phasenfehlerkompensation nicht mehr störend aus. BILD 59 zeigt das Blockschaltbild eines PAL-Coders. Gegenüber

dem NTSC-Coder entfällt die 33°-Phasendrehung der Farbträgerkomponenten, es kommen jedoch die Umpolung der Farbträgerkomponente für den (B – Y)-Modulator sowie die Erzeugung des alternierenden Burst hinzu.

Die technische Realisierung der PAL-Fehlerkompensation bedarf gegenüber der Prinzipdarstellung in Bild 57 einer gesonderten Erläuterung. Dazu ist es zweckmäßig, aus dem PAL-Decoder zunächst die Funktionsgruppe Laufzeit-Decoder herauszunehmen. Im Gegensatz zum NTSC-Decoder wird nämlich beim PAL-Decoder das Farbartsignal nicht den beiden Synchrondemodulatoren gleichzeitig zugeführt, sondern es findet bereits vorher eine Aufspaltung in die F_U- und F_V-Komponente statt. Diese Aufgabe übernimmt der Laufzeit-Decoder (BILD 60). Das ankommende Farbartsignal wird an dessen Eingang dreifach aufgeteilt. Es gelangt über ein Laufzeitglied mit 64 µs Signalverzögerung (≙ Zeilendauer) sowie direkt und um 180° in der Phase gedreht an die beiden Ausgänge. Dort findet jeweils eine Signaladdition statt. Am Ausgang F_U addieren sich das Farbartsignal der vorangehenden Zeile (F_n) und das der gerade ablaufenden Zeile (F_{n+1}). Aufeinanderfolgende Zeilen beinhalten die F_V-Komponente mit um 180° wechselnder Phasenlage, so daß sich die F_V-Komponente über zwei Zeilen hinweg aufhebt. An diesem Ausgang kann somit ständig die F_U-Komponente des Farbartsignals abgenommen werden. Dem Ausgang F_V wird das Eingangssignal um 180° phasenverschoben zugeführt. Durch die Addition mit dem verzögerten Farbartsignal ergibt sich eine Aufhebung der F_U-Komponente, und es erscheint an diesem Ausgang die F_V-Komponente des Farbartsignals, allerdings zeilenweise in der Phasenlage um 180° wechselnd. Die Funktion des Laufzeit-Decoders läßt sich sehr anschaulich an Hand der Zeigerdiagramme gemäß BILD 61 erklären.

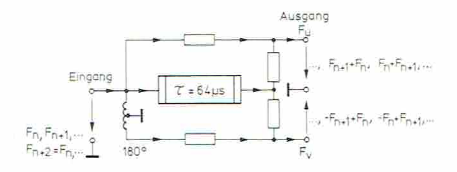


BILD 60 PAL-Laufzeit-Decoder.

Die zeilenweise Änderung der Phasenlage der F_V-Komponente kann durch eine gesteuerte Umschaltung rückgängig gemacht werden. Einfacher ist jedoch die zeilenweise Umpolung der Phasenlage des Referenzträgers im (R – Y)-Synchrondemodulator. In der Zusammenschaltung des kompletten PAL-Decoders übernimmt diese Aufgabe der PAL-Schalter. Die Synchronisierung des PAL-Schalters erfolgt vom alternierenden Burst her (BILD 62).

Ein Phasenfehler im Übertragungsweg erscheint sowohl beim F_U- als auch beim F_V-Signal in gleicher Richtung (BILD 63). Da in den Synchrondemodulatoren aber nur eine Bewertung der mit dem Referenzträger in Phase liegenden Komponente des zugeführten Signals stattfindet, erhält man am Ausgang des (B – Y)-Demodulators das Signal

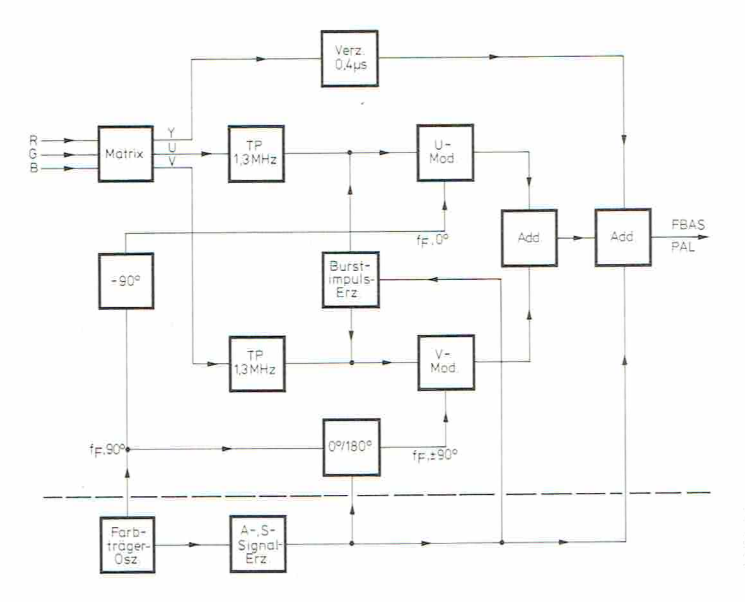


BILD 59 Blockschaltbild eines PAL-Coders.

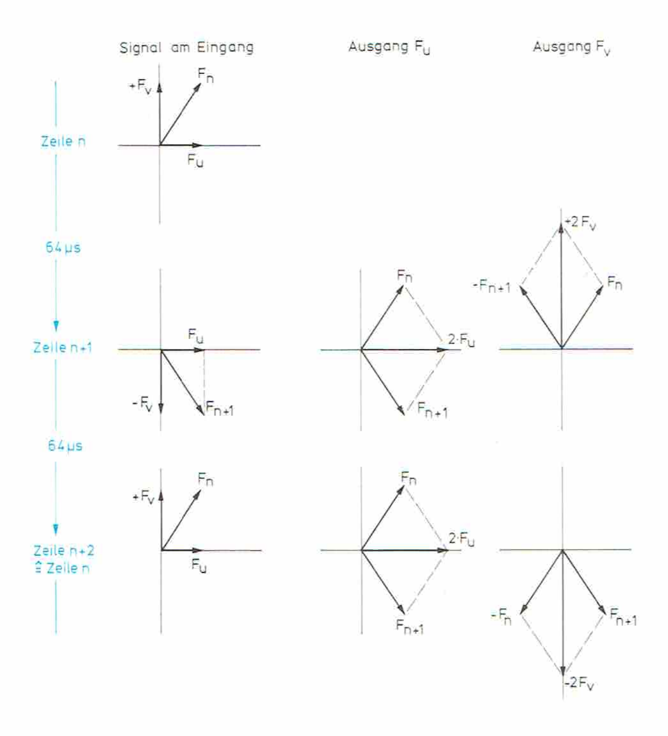


Bild 61 Aufspaltung des Farbartsignals in die F_U- und die F_V-Komponente beim PAL-Laufzeit-Decoder.

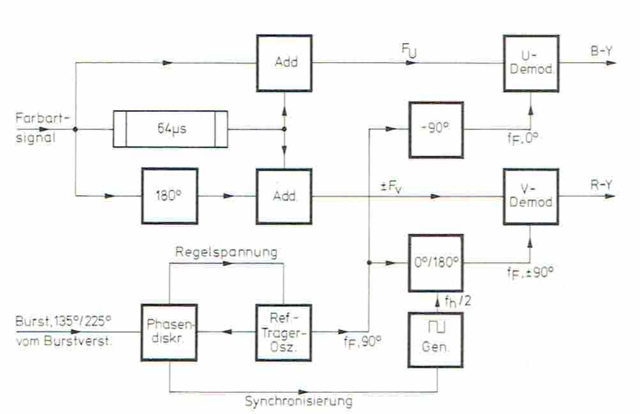


BILD 62 PAL-Decoder mit Referenzträgergewinnung.

$U' = |F_U| \cdot \cos\alpha$ und am Ausgang des (R−Y)-Demodulators das Signal $V' = |F_V| \cdot \cos\alpha$. Beide Farbdifferenzsignale werden um denselben Faktor reduziert, so daß das Verhältnis V/U beziehungsweise (R−Y) / (B−Y) konstant und damit auch der Farbton des wiedergegebenen Bildteiles unbeeinflußt bleibt. Eine Entsättigung gemäß dem Faktor $\cos\alpha$ macht sich wesentlich erst bei großen Phasenfehlern bemerkbar.

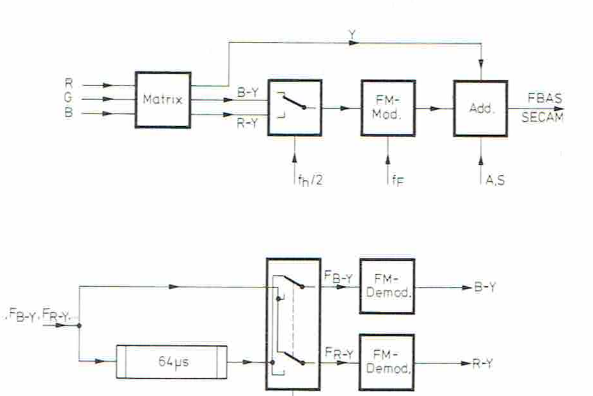


BILD 64 Vereinfachtes Blockschaltbild des SECAM-Coders (oben) und -Decoders (unten).

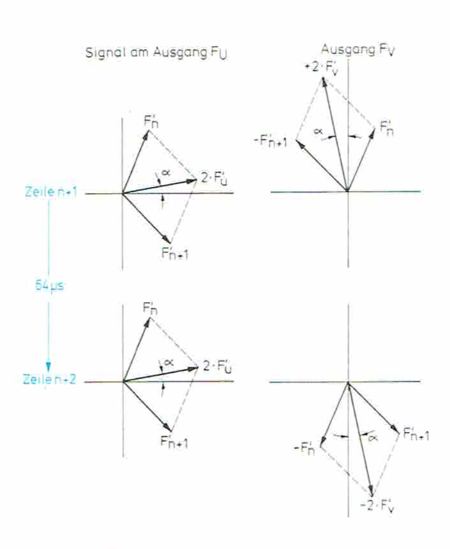


BILD 63 Einfluß eines Phasenfehlers auf die Signale beim PAL-Laufzeit-Decoder.

5.6 SECAM-Verfahren

Auch das SECAM-Verfahren bringt eine Verbesserung gegenüber dem NTSC-Verfahren hinsichtlich einer Farbtonverfälschung durch Phasenfehler auf dem Übertragungsweg. Es basiert, wie das PAL-Verfahren, auf der Annahme, daß sich die Farbinformation von Zeile zu Zeile nicht wesentlich ändert beziehungsweise, daß das menschliche Auge eine Verringerung der Vertikal-Farbauflösung bis zu einem gewissen Grad nicht als störend empfindet.

Die für die Farbinformation charakteristischen Farbdifferenzsignale (B−Y) und (R−Y) brauchen deshalb nicht gleichzeitig übertragen zu werden. Dies kann vielmehr in jeweils aufeinanderfolgenden Zeilen nacheinander geschehen. Im Empfänger wird dann das Signal einer Zeile über eine Verzögerungsleitung für die Dauer von 64 µs gespeichert und mit dem Signal der folgenden Zeile gemeinsam verarbeitet. Die Bezeichnung SECAM, aus „séquentielle à mémoire" abgeleitet, besagt, daß es sich um ein sequentielles Verfahren mit Speicher handelt.

Nachdem die beiden Farbdifferenzsignale getrennt übertragen werden, kann die Modulationsart frei gewählt werden. Beim SECAM-Verfahren arbeitet man mit der wenig störanfälligen Frequenzmodulation. Die Bezugsfrequenz des FM-Demodulators muß jedoch sehr konstant gehalten werden, damit keine Verfälschung der demodulierten Farbdifferenzsignale auftritt.

BILD 64 zeigt das vereinfachte Blockschaltbild eines SECAM-Coders und -Decoders. Im Coder werden zeilenweise abwechselnd das (B−Y)- und das (R−Y)-Signal an den Frequenzmodulator angelegt. Damit im Decoder die Zuordnung der demodulierten Farbdifferenzsignale synchron zur Sendeseite erfolgt, werden während neun Zeilen der Vertikal-Austastlücke nach dem V-Impuls Identifikationsimpulse in Form des modulierten Farbträgers übertragen.

Bei der Frequenzmodulation des Farbträgers wird dieser selbst nicht unterdrückt. Insbesondere bei wenig gesättigten Farben würde sich dadurch bei einem Schwarzweiß-Empfänger trotz Farbträgeroffset ein Störmuster am Bildschirm zeigen. Es wird deshalb der Farbträger sendeseitig durch eine Preemphase abgesenkt und empfangsseitig durch eine Deemphase im Farbkanal wieder angehoben. Den Einfluß von Rauschstörungen vermindert man durch eine videofrequente Pre- und Deemphase.

Das SECAM-Verfahren hat verschiedene Entwicklungsstufen durchlaufen. Die letzte Variante, SECAM III b oder SECAM III opt., basiert auf geringfügig unterschiedlichen Farbträgerfrequenzen für das (B−Y)- und (R−Y)-Signal, wodurch das Störmuster des Farbträgers noch verringert wird.

Gegenüber dem PAL-Verfahren weist SECAM einige systembedingte Schwächen auf, da die Frequenzmodulation an ihrer physikalischen Grenze ausgenutzt wird [3].

Wird fortgesetzt. Rudolf Mäusl

LITERATUR

[3] Schönfelder, H.: Fernsehtechnik, Teil I und II. Vorlesungsniederschrift. Justus-von Liebig-Verlag, Darmstadt, 1972 und 1973.



Fernsehtechnik (VII)

6. Farbbildaufnahme und -wiedergabe

Den bisherigen Erläuterungen wurde stets ein elektrisches Bildsignal zugrunde gelegt, das mit einem optisch-elektrischen Wandler aus der zu übertragenden Bildvorlage gewonnen wurde. Im folgenden wird nun kurz auf die sende- und empfangsseitigen Wandler beim Fernsehen eingegangen und dann abschließend die Wiedergabe des Farbbildes durch den Farbfernsehempfänger demonstriert.

6.1 Prinzip der Farbbildaufnahme

Den Ausgangspunkt bildet zunächst wieder ein optisch-elektrischer Wandler, der Helligkeitsschwankungen in ein elektrisches Bildsignal umsetzt. Von den verschiedenen Wandlersystemen sind für die Fernsehtechnik im wesentlichen nur noch die Aufnahmeröhren mit Halbleiterfotoschicht von Bedeutung. Bei den Röhren des Vidikon-Typs dient eine Halbleiterschicht als Speicherplatte mit vom Lichteinfall abhängigem Sperrwiderstand. Je nach Zusammensetzung der Halbleiterschicht ergeben sich unterschiedliche Eigenschaften des Wandlers. Vielfach verwendet wird das Plumbikon, mit einer Bleioxidschicht, das gegenüber dem eigentlichen Vidikon, mit einer Antimontrisulfidschicht, eine höhere Empfindlichkeit und weniger Trägheitserscheinungen aufweist.

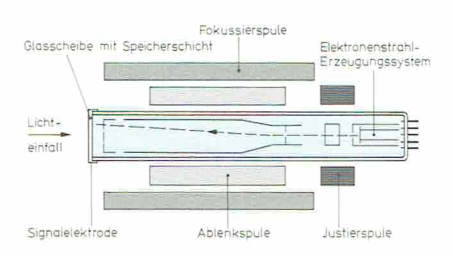


BILD 65 Schematischer Aufbau einer Vidikon-Kameraröhre.

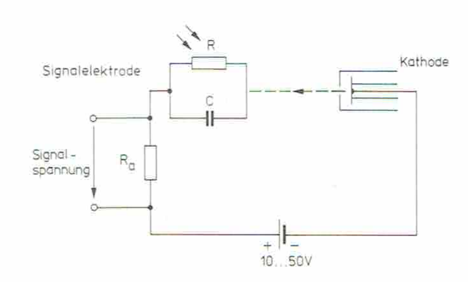


BILD 66 Stromkreis für einen Bildpunkt auf der Speicherplatte bei der Vidikon-Kameraröhre.

In BILD 65 ist der schematische Aufbau einer Aufnahmeröhre des Vidikon-Typs mit den Ablenk- und Fokussierspulen dargestellt. Die Arbeitsweise läßt sich folgendermaßen beschreiben: Der aus der Kathode unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes austretende Elektronenstrahl lädt die dem Strahl-Erzeugungssystem zugewendete Seite der Speicherplatte negativ auf. Über die positive Plattenspannung werden auf der Bildseite der Speicherplatte positive Ladungsträger gebunden. An Stellen eines Lichteinfalls werden durch die auftreffenden Lichtquanten in der Halbleiterschicht Elektronen frei, was über den dadurch geringeren Sperrwiderstand einen Ladungsausgleich an den entsprechenden Bildpunkten zur Folge hat. Beim nachfolgenden erneuten Ladevorgang werden an diesen Stellen auf der einen Seite der Speicherplatte wieder Elektronen gebunden und auf der anderen Seite in gleicher Anzahl frei. Diese Elektronen fließen über den äußeren Arbeitswiderstand ab und rufen daran eine Signalspannung hervor. BILD 66 zeigt den Stromkreis für einen Bildpunkt auf der Speicherplatte, der durch die Parallelschaltung eines Kondensators mit einem belichtungsabhängigen Widerstand ersetzt wird.

Zur Farbbildaufnahme braucht man – dem Grundprinzip der Farbübertragung entsprechend – drei Aufnahmeröhren, auf deren lichtempfindliche Halbleiterschichten über einen optischen Strahlenteiler, den sogenannten Farbteiler, und über Korrekturfilter zur Anpassung an die spektrale Empfindlichkeit der Halbleiterschichten das zu übertragende Bild in den Farbauszügen Blau, Rot und Grün projiziert wird (BILD 67). Damit die drei Teilbilder mit ihren Rastern genau deckungsgleich sind, ist eine hohe mechanische und elektronenopti-

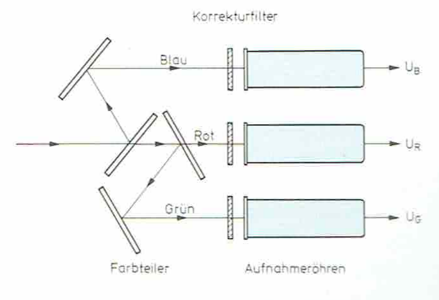


BILD 67 Zerlegung des einfallenden Lichtes bei der Farbfernsehkamera in die drei Primärfarbanteile.

sche Präzision erforderlich. Deckungsfehler der Farbraster würden zu einem Schärfeverlust im Leuchtdichtesignal führen. Man verwendet deshalb auch Farbfernsehkameras mit einer eigenen Aufnahmeröhre für das Leuchtdichtesignal. Zukunftsweisende Entwicklungen, die heute teilweise schon in tragbaren Farbfernsehkameras verwirklicht werden, deuten auf eine Einröhren-Farbfernsehkamera hin, bei der die Farbwertsignale im Rot-, Grün- und Blau-Kanal über ein Multiplexverfahren gewonnen werden.

6.2 Farbbildwiedergabe mit Loch- beziehungsweise Schlitzmaskenröhre

Zur Wiedergabe des Helligkeitsbildes benutzt man beim Fernsehen Bildröhren mit einem Leuchtschirm, der beim Auftreffen eines Elektronenstrahls je nach dessen Intensität mehr oder weniger hell aufleuchtet. Die Rasterablenkung des Elektronenstrahls erfolgt über magnetische Felder, die von den Ablenkströmen in den horizontalen und verti-

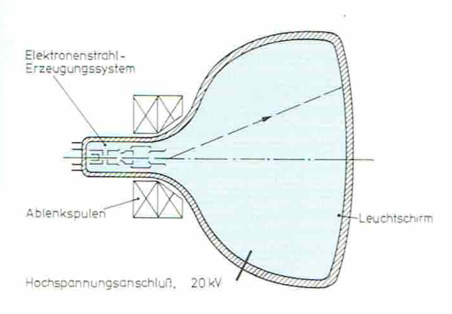


BILD 68 Schwarzweiß-Bildröhre mit Ablenkeinheit.

kalen Ablenkspulen erzeugt werden (BILD 68). Die Stärke des Elektronenstrahls wird durch die Spannung an der Steuerelektrode beeinflußt.

Während man bei Bildröhren für Schwarzweiß-Bildwiedergabe einen homogenen, weißbläulich aufleuchtenden Schirm verwendet, muß dieser bei Farbbildröhren die Grundfarben Rot, Grün und Blau abstrahlen. Die Farbdetailauflösung hat aber bis in die einzelnen Bildpunkte zu erfolgen. Dazu wird auf dem Bildschirm jeder Bildpunkt durch drei Leuchtstoffpunkte, in den Farben Rot, Grün und Blau, einem sogenannten Farbtripel, dargestellt (BILD 69). Etwa dreimal 400 000 Leuchtstoffpunkte befinden sich auf der Bildschirmfläche.

In der Farbbildröhre sind drei Strahl-Erzeugungssysteme eingebaut. Bei der **Delta-Farbbildröhre,** der über viele Jahre hinweg fast einzig verwendeten Farbbildröhre, sind die Strahl-Erzeu-

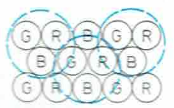


BILD 69 Anordnung der Leuchtstoffpunkte bei der Farbbildröhre.

gungssysteme im Winkel von 120° zueinander angeordnet. Die Intensität der austretenden Elektronenstrahlen wird durch die anliegenden Farbwertsignale gesteuert. Damit bei der gemeinsamen Ablenkung der drei Elektronenstrahlen

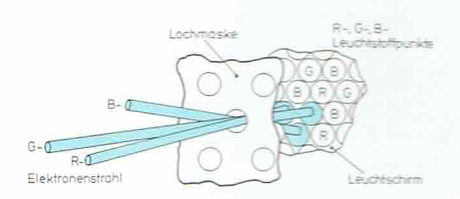


BILD 70 Teil der Lochmaske und des Leuchtschirms bei der Delta-Farbbildröhre.

eine eindeutige Zuordnung auf die jeweiligen Leuchtstoffpunkte erreicht wird, ist im Abstand von etwa 15 mm zum Leuchtschirm eine Lochmaske angebracht (BILD 70).

Neuere Farbbildröhren sind mit einer Schlitzmaske ausgestattet. Entsprechend sind auch die Leuchtstoffpunkte auf dem Bildschirm länglich oval oder als Streifen ausgebildet. Die drei Strahl-Erzeu-

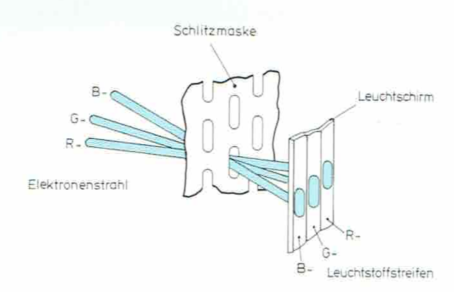


BILD 71 Teil der Schlitzmaske und des Leuchtschirms bei der In-Line-Farbbildröhre.

gungssysteme liegen bei dieser sogenannten **In-Line-Farbbildröhre** in einer Ebene (BILD 71). Man erreicht durch diese Anordnung eine hohe Farbreinheit, das heißt, es werden von den Elektronenstrahlen stets nur die dem jeweiligen Strahl-Erzeugungssystem zugeordneten Leuchtstoffstreifen richtiger Farbe getroffen, sowie in Verbindung mit einem besonderen Ablenkfeld eine gute Konvergenz, das heißt, es werden die richtigen und zu einem Bildpunkt gehörigen Leuchtstoffpunkte angeregt. Bei der Delta-Farbbildröhre war dazu ein höherer schaltungstechnischer Aufwand erforderlich.

7. Blockschaltbild eines PAL-Farbfernsehempfängers

Im Stromlaufplan eines heutigen Farbfernsehgerätes läßt sich oft keine detaillierte Signalverfolgung mehr vornehmen. Der Grund liegt in der vielfältigen Verwendung von integrierten Schaltungen, in denen mehrere Funktionseinheiten zusammengefaßt sind. Wenn damit auch eine weitgehende Standardisierung der Schaltungstechnik verbunden ist, so gibt es doch noch auf Grund der Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten mehrerer Funktionsstufen ein breites Angebot an integrierten Schaltungen für Farbfernsehempfänger.

Zur besseren Darstellung des Zusammenwirkens all der Funktionseinheiten in einem PAL-Farbfernsehempfänger sind diese in BILD 72 einzeln gezeichnet. Darüber hinaus ist gestrichelt angedeutet, welche Möglichkeiten denkbar und auch tatsächlich in der Zusammenfassung mehrerer Funktionsstufen in integrierten Schaltungen realisiert sind.

Das von der Antenne ankommende HF-Signal wird im VHF-UHF-Tuner in die ZF-Lage umgesetzt, über das Nyquist-Filter zum Ausgleich des Restseitenband-Anteils geführt und im ZF-Verstärker auf den zur Demodulation notwendigen Pegel verstärkt. Damit keine Intermodulation zwischen dem Farbträger und dem Intercarrier-Tonträger entsteht, wird der ZF-Tonträger vom Bild-ZF-Demodulator ferngehalten. In einem eigenen Diodenkreis wird aus dem Ton-ZF- und dem Bild-ZF-Signal das 5,5-MHz-Intercarrier-Ton-ZF-Signal gewonnen. Neuere Entwicklungen gehen in Richtung Paralleltonverfahren, das heißt, es wird das 33,4-MHz-Ton-ZF-Signal direkt verstärkt und demoduliert.

Dem Bild-ZF-Demodulator wird das demodulierte FBAS-Signal entnommen. Es folgt die Synchronsignal-Abtrennung und die selektive Auskopplung des Farbartsignals über einen 4,43-MHz-Bandpaß. Der verbleibende Y-Anteil wird zur Angleichung an die größere

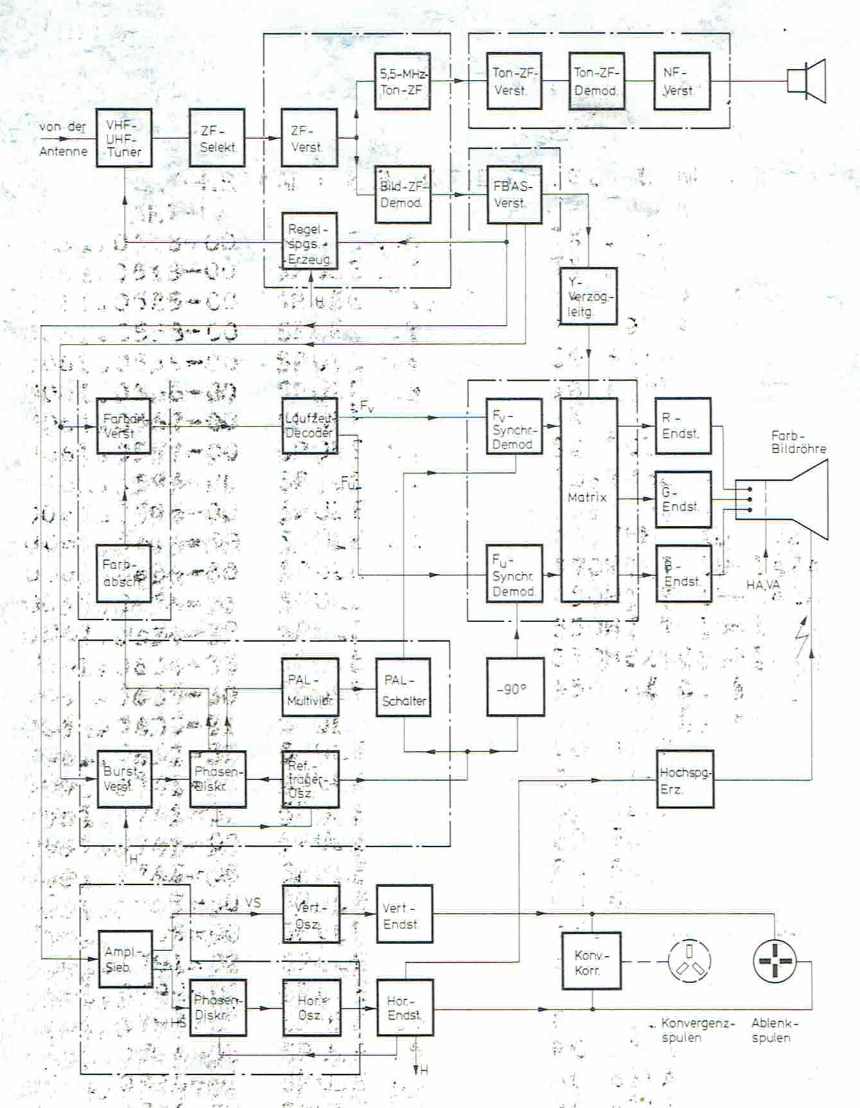


BILD 72 Blockschaltbild eines PAL-Farbfernsehempfängers.

Signallaufzeit im Farbartverstärker um etwa 1 µs verzögert und nach weiterer Verstärkung der Matrixschaltung zugeführt.

Das Farbartsignal gelangt nach Verstärkung zum Laufzeit-Decoder, wo es in die F_U- und F_V-Komponente aufgespalten wird. Mit den beiden Synchrondemodulatoren werden, wie bereits ausführlich beschrieben, die Farbdifferenzsignale zurückgewonnen. Aus der Matrixschaltung erhält man die Farbwertsignale zur Steuerung der Farbbildröhre.

Parallel zum Farbartverstärker wird der Farbsynchronimpuls über einen, durch den Zeilenimpuls aufgetasteten Verstärker dem Phasendiskriminator zugeführt, wo ein Vergleich mit der Referenzträgerschwingung stattfindet. Dem Phasendiskriminator werden die Regelspannung für den Referenzträgeroszillator sowie das Synchronisiersignal für den PAL-Umschalter entnommen. Außerdem wird vom Phasendiskriminator der Farbabschalter gesteuert, der bei Fehlen des Farbsynchronsignals den Farbartverstärker sperrt, damit bei Schwarzweiß-Bildwiedergabe kein farbiges Rauschen entsteht.

Nach der Synchronimpulsabtrennstufe werden, wie beim Schwarzweiß-Empfänger, die Synchronsignale getrennt in den Horizontal- und Vertikalablenkkreis eingeführt. Zusätzliche Korrektursignale, die auf die Ablenkspulen und/oder die Konvergenzkorrekturspulen der Ablenkeinheit der Farbbildröhre gegeben werden, sind von den Horizontal- und Vertikalablenksignalen abgeleitet.

Durch die Modultechnik und Verwendung integrierter Schaltungen ergeben sich teilweise Baugruppen, deren Funktion übergreifend auf andere Einheiten ist. Dazu kommen gegebenenfalls noch weitere Baugruppen beispielsweise für Bedienungskonzept, Mehrnormen-Decoder, Zeiteinblendung, Bild-in-Bild-Einblendung oder Video- und Teletext-Auswertung.

Rudolf Mäusl